Vysoká škola ekonomická v Praze

Fakulta podnikohospodářská

Katedra podnikové ekonomiky

Neurčité a intervalově-pravděpodobnostní přístupy k hodnocení rizik investičního projektu realizovaného formou partnerství veřejného a soukromého sektoru (PPP)

Zpracovala: **Ing. Viktorie Dašková**

Vedoucí doktorské disertační práce: **Prof. Ing. Miloslav Synek, CSc.**

Praha 2012

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma

„Neurčité a intervalově-pravděpodobnostní přístupy k hodnocení rizik investičního projektu realizovaného formou partnerství veřejného a soukromého sektoru (PPP)“

vypracovala samostatně s využitím literatury a informací, na něž odkazuji.

V Praze dne 17. května 2012 Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu práce panu prof. Ing. Miloslavu Synkovi, CSc. za jeho víru ve mne, za pomoc při této disertační práci. Chtěla bych poděkovat paní prof. Ing. Evě Kislingerové, CSc. vedoucí katedry podnikové ekonomiky, za její velkorysost a vstřícnost vůči mně jak během studia na fakultě, tak i při této práci. Zároveň děkuji i všem členům katedry podnikové ekonomiky za jejich pomoc a cenné připomínky. Děkuji za přehlednutí konečné verze textu práce paní Huberové.

V neposlední řadě bych také ráda poděkovala mé mamince za morální a materiální podporu během psaní disertační práce.

Přehled použitých zkratek

BBO	Buy Build and Operate
BOOT	Build Own Operate and Transfer
BOT	Build Operate and Transfer
BTO	Build Transfer and Operate
CAPM	Capital Asset Pricing Model
CBA	Cost-benefit analysis
CFI	Cash flow input
CFO	Cash flow output
CKAD	Centrální dálniční okruh kolem Moskvy
DB	Design & Build
DBB	Design Bid Build
DBFO	Design Build Finance and Operate
DBM	Design Build and Maintain
DBO	Design Build and Operate
DBOO	Design Build Own and Operate
DBOT	Design Build Operate and Transfer
DCF	Discounted Cash Flow
DPH	Daň z přidané hodnoty
DSCR	Debt-Service Coverage Ratio
EPC	Energy Performance Contract
FIS	Fuzzy Inferenční Systém
HDP	Hrubý domácí produkt
IP	Investiční projekt
IRR	Internal rate of return

ISC	Index spotřebitelských cen
LIBOR	London Interbank Offered Rate
LOM	Largest of Maximums
MFCR	Ministerstvo financí ČR
MKAD	Moskevský silniční okruh
MOM	Mean of Maximums
NPV	Net present value
OB	Optimism Bias
OM	Operate & Maintenance
PI	Profitability index
PPP	Public Private Partnership
RF	Ruská federace
RO	Rozhodující osoba
SIR	Strategické investiční rozhodnutí
SNS	Společenství nezávislých států
SOM	Smallest of Maximums
SPV	Special Purpose Company
TNM	Teorie neurčitých množin
USD	Americký dolar
VfM	Value for Money
VZ	Veřejná zakázka
WACC	Weighted average cost of capital

Obsah

Úvod…….....5

1 Formulace problému, cíl práce a metody zpracování……8

1.1 Úvod do problematiky…….....8

1.2 Cíl práce, formulace zkoumaných otázek a metody výzkumu……12

2 Základní přístupy k formalizaci nejistoty v úkolech strategického řízení reálních investic……16

2.1 Klasifikace druhů nejistoty a rizika v úkolech přijetí strategických investičních rozhodnutí ……..16

2.2 Analýza přístupů k modelování nejistoty …….....20

2.3 Analýza tradičních metod posuzování ekonomické efektivnosti investičních projektů (IP) v podmínkách rizika a nejistoty……28

2.4 Aplikace teorie neurčitých množin (TNM) při hodnocení ekonomické efektivnosti a rizik investičního projektu v podmínkách nejistoty ……34

3 Podstata PPP projektů a problémy související se stanovením diskontní sazby ……38

3.1. Charakteristika PPP projektů ……..38

3.1.1 Příležitosti a cíle PPP modelu ……38

3.1.2 Principy uplatňované konceptem PPP ……...38

3.1.3 Prvky PPP projektů ……41

3.2. Dosažení ukazatele VfM při provádění analýzy efektivnosti PPP projektu ……44

3.2.1Metody hodnocení efektivnosti PPP projektu z pohledu jeho hlavních účastníků……44

3.2.2 Platební mechanizmus jako nástroj řízení projektu ……47

3.2.3 Stručný popis konstrukce finančního modelu rozpočtové efektivity ……..50

3.3 Problémy související se stanovením diskontní sazby u projektů typu PPP ……...53

3.3.1 Všeobecná klasifikace rizik projektů …….....53

3.3.2 Způsoby integrace rizika do investičního rozhodování ……54

3.3.3 Financování projektů typu PPP v současnosti……57

3.3.3.1 Používané struktury kapitálu ……58

3.3.3.2 Vliv krize na nynější a budoucí projekty PPP ……59

3.3.3.3 Očekávané míry výnosnosti, požadované investory ……61

3.3.3.4 Úvěrové zdroje (lhůty, sazby) ……62

3.3.3.5 Stanovení diskontní sazby projektů typu PPP ……65

3.3.3.6 Rozpočtová diskontní sazba ……..65

3.4 Metodika srovnávací analýzy efektivity realizace projektu v podobě statní zakázky a koncesi ……66

4 Integrace rizika do investičního rozhodování PPP projektů …….....70

4.1 Projektová rizika a rizika projektu PPP ……...70

4.1.1 Cíle rizikové analýzy ……70

4.1.2 Riziková analýzy projektů realizovaného ve spoluprací se soukromým sektorem ……70

4.1.3 Vyšší hodnota za peníze a optimální úloha nákladů rizik v ní ……72

4.2 Analýza rizik na úrovní studie proveditelnosti koncese ……..73

4.2.1 Identifikace rizik projektu ……...73

4.2.2 Doba vzniku a dopadu rizika ……..74

4.2.3 Registr rizik ……...75

4.2.4 Kategorie rizik ……..75

4.2.4.1 Podnikatelská rizika (riziko poptávky) ……...76

4.2.4.2 Riziko investiční přípravy projektu ……77

4.2.4.3 Riziko obchodní přípravy projektu, riziko tenderu ……...78

4.2.4.4 Riziko realizace stavby ……..78

4.2.4.5 Provozní rizika, rizika technické správy a údržby, investic životního cyklu ……...79

4.2.4.6 Ekonomická a finanční, politická a sociálně-ekonomická rizika……79

4.2.5 Matice rizik ……...79

4.3 Metody ocenění rizik PPP projektů ……...80

4.3.1 Optimism Bias – nadměrný sklon k optimismu ……81

4.3.2 Bodová metoda/jednoduchá metoda ……...82

4.3.3 Pokročilá metoda s použitím simulačního přístupu k analýze rizik PPP projektu …….....84

4.3.3.1 Určení faktorů rizik projektu – fáze identifikace ……...84

4.3.3.2 Stanovení významností faktorů rizik ……...85

4.3.3.3 Stanovení statistických charakteristik rizik investičního projektu ……..87

4.3.3.4 Postup simulace metodou Monte Carlo ……...89

4.3.3.5 Analytické výsledky simulace ……...90

4.3.3.6 Úprava modelů VZ a PPP o výslední hodnoty zadržených a převoditelných rizik ……..92

4.3.4 Pokročilá metoda s použitím fuzzy matematiky a fuzzy logiky v analýze rizik PPP projektů ……..92

4.3.4.1 Úvod do problematiky teorie neurčitých množin ……...92
4.3.4.2 Ekonomická interpretace fuzzy intervalů (čísel) a fuzzy množiny……96
4.3.4.3 Fuzzy čísla a rizika ……97
4.3.4.4 Princip rozšíření Zadeh a také „*a*-řezový princip rozšíření“. Aritmetické operace na neurčitých číslech……98
4.3.4.5Matematická formalizace nejistoty pomocí pokročilých přístupů…….....101

5 Metodologie modelování v podmínkách nejistoty ……..108
5.1 Modely používané pro popis nejistých údajů: pravděpodobnostní, neurčité, intervalové ……108
5.2 Expert a jeho „poznávací aktivita“ …….....110
5.3 Metodologické problémy propojenosti a rozhraničení pokročilých přístupů při operování s nejistotami.....111
5.4 Srovnávací analýza neurčité a intervalově-pravděpodobnostní metody formalizace nejistoty ……..116
5.4.1 Znalecké posudky při vytvoření scénářů možných dopadů rizik projektu.....116
5.4.2 Problémy použití pravděpodobnostního způsobu při modelování hodnoceni rizik projektu metodou simulace Monte Carlo…….....117
5.4.3 Problémy při modelování hodnocení rizik projektu pomocí neurčitého přístupu ……...121
5.5 Předností a nedostatky dvou pokročilých metod hodnoceni rizik projektu …….127
6 Praktické uplatněni pokročilých metod při hodnoceni rizik projektu …….....129
6.1 Výběr nástrojů pro implementace pokročilých metod při hodnoceni rizik projektu v procesu modelování ……129
6.2 Hodnocení ekonomické efektivity a rizika investičního projektu při neurčité vstupní informaci na příkladu výstavby a provozu placeného dálničního okruhu kolem Moskvy (CKAD). Popis projektu …….131
6.3 Porovnání výsledků neurčitého a intervalově-pravděpodobnostního přístupů k hodnocení ekonomické efektivnosti investičního projektu PPP z hlediska ukazatele hodnoty za peníze…….....136
7 Závěr ……..144
8 Literatura ……...148

Přílohy

Úvod

V dnešním rychle se měnícím světě rozhodování probíhá za podmínek, kdy nejsou cíle, omezení a důsledky možných činností přesně známé. Pokus, vzít v úvahu jen hlavní faktory ovlivňující rozhodování v podobě nějakého rozhodovacího ukazatele zkoumaného projektu, často vede k nepraktickému modelu, který je těžké pochopit. Je zřejmé, že je třeba **zvolit jasný přístup k hodnocení projektu, který by umožnil s vysokou mírou důvěry poskytnout celkový odhad situace**.

Jedním z oborů, kde se masivně pracuje s neúplnými či jinak vadnými informacemi nesoucími v sobě riziko, kde se při přijímání závažných rozhodnutí musí brát v úvahu i nejistota a náhodnost jevů, je rozhodování o realizaci a financování projektů, zejména projektů PPP, kde se na realizaci projektu podílejí jak veřejný, tak i soukromý sektor. Projekty tohoto typu jsou velkou šancí pro nové způsoby financování veřejné infrastruktury tam, kde možnosti státu nestačí, což bylo potvrzeno v posledních letech stavem silniční infrastruktury ve střední a východní Evropě. Na straně veřejného sektoru jde o úsilí co nejlépe využít provozní efektivitu projektu při snížení nákladů a zvýšení kvality pro veřejnost a tím se přiblížit efektivnosti soukromého sektoru. Zároveň jde o urychlení rozvoje infrastruktury tím nejhospodárnějším a nejefektivnějším způsobem.

Charakteristickým rysem projektů PPP je rovněž skutečnost, že riziko investičního kapitálu nese soukromý partner. Co se týká celkových rizik projektu, projekty typu PPP umožňují jejich optimální rozložení, kdy každý ze subjektů partnerského vztahu přebírá to riziko, které dokáže nejlépe řídit, Ostrouško [42].

Při provádění hodnocení projektu, jako je například analýza účelnosti a efektivnosti projektu typu PPP, má analýza projektu řadu dalších dílčích studií a vytváří tak větší zátěž na analytika. Spolupráce stran v rámci PPP má řadu problémů. Klíčovým problémem překročení nákladů je nespolehlivý odhad jejich předpokládaných hodnot. V této souvislosti je vhodné provádět prognózování projektů PPP na základě sdílení rizik mezi veřejným a soukromým sektorem. Při analýze musíme brát v úvahu, že hlavní zájem soukromých investorů spočívá v dosažení zisku, a dále klást důraz na posouzení optimálního podílu soukromých investorů do infrastrukturního PPP projektu. Obvykle se provádí statické posouzení, ale pro případ dlouhodobého projektu v oblasti infrastruktury (více než 20 let) bude statické posouzení nevyhovující.

Pro zvýšení spolehlivosti posouzení byl zformulován dynamický model hodnocení efektivnosti realizace infrastrukturního projektu během jeho životního cyklu. V tomto modelu je, souběžně s výpočty ekonomické efektivnosti, nutné vypracovat prognózy vývoje projektu PPP pomocí modelování rizik projektu. Podcenění integrace rizik do hodnocení efektivity projektu typu PPP je

nutno vnímat jako **základní problém, pro jehož rozřešení je třeba vystavět aplikační model hodnocení rizik, což je náplní předkládané práce.**

Špatné rozhodnutí může mít vážné důsledky na dlouhodobé investice. Proto včasná identifikace a co nejpřesnější hodnocení rizik je jedním ze současných problémů moderní investiční analýzy.

Z praxe je známo, jak náhodné jevy a nejistota způsobená neúplnými, nepřesnými a neurčitými informacemi, informacemi s vadou s sebou přinášejí riziko, ztěžují rozhodnutí o tom, které z mnoha možných řešení je pro dané potřeby ideální, ztěžují správné ohodnocení rizika, ztěžují správné rozhodnutí. Určitým nástrojem pro zpracování situací popisovaných informacemi s výše uvedenými vadami, jejichž výčet zdaleka není úplný, jsou poměrně nové matematické metody, metody fuzzy matematiky a metody fuzzy logiky.

Teorie fuzzy logiky je nový, dynamicky se rozvíjející přístup k hodnocení rizika. V poslední době je fuzzy modelování jedním z nejaktivnějších a nejvíce perspektivních oblastí aplikovaného výzkumu v oblasti řízení a rozhodování.

Hlavní přednost teorie fuzzy logiky spočívá v zavádění jazykových proměnných (subjektivních kategorii).

Lingvistické neboli jazykové proměnné jsou proměnné, které nelze přímo popsat pomocí matematického jazyka, je těžké jim přiřadit přesné kvantitativní hodnocení a nemají přesné odhady. Mohou být ale zastoupené matematickým popisem ve formě hlavního nástroje teorie neurčitých množin – **funkcí příslušnosti**. L. Zadeh zavedl jako lingvistickou takovou proměnnou, jejíž hodnoty jsou slova nebo věty přirozeného jazyka. V odborné literatuře, zkoumající fuzzy množiny se lingvistické proměnné nazývají term-množinou (z anglického term – název).

V této práci je zdůvodněno použití teorie fuzzy množin při posuzování ukazatele hodnoty za peníze (Value for Money - VfM) v projektech spolupráce veřejného a soukromého sektoru v podmínkách, kdy nejsou dostatečně dostupné informace pro stanovení rozdělení pravděpodobností popisujících možné hodnoty změn parametrů projektu. Snahou této práce je prokázat účinnost použití teorie fuzzy množin a fuzzy logiky ve výše uvedených podmínkách.

Při řešení stanoveného cíle se rozvíjejí stávající a zároveň se navrhují nové metody projekční analýzy pro modelování rizik proměnných projektu **použitím teorie fuzzy množin (TNM)**, a to formou modelování peněžních toků možné ztráty z projekční činnosti pomocí obecných ekonomicko-matematických metod.

Používání navrhovaného modelu analýzy rizik investičního projektu typu PPP v podmínkách nejistoty doporučují projekčním organizacím a veřejným institucím na různých úrovních, tam kde je nutné provést úplnou komplexní analýzu vnitřních (generovaných přímo z projektu) a vnějších (týkajících se makroekonomického prostředí) rizik projektu. Výsledky mohou být využity vědeckými organizacemi a státními institucemi pro analýzu různých typů projektů (nejen typu PPP) a při provádění externích

hodnocení celé řady objektů, pojmů a jevů, které jsou nutné pro získání určitých ukazatelů nebo vlastností předmětu studií, jejichž popis a modelování jsou z různých důvodů komplikované.

Novost práce spočívá zejména v následujícím výzkumu:

- zjišťování možnosti využití aparátu TNM v projekční analýze hodnocení efektivity projektu typu PPP z hlediska ukazatele hodnoty za peníze;

- návrh metody konstrukce aproximačního modelu pro stanovení případných odchylek nákladů a přínosů projektu pomocí započítání rizikových položek projektu do peněžních toků s cílem stanovení výsledného ukazatele hodnoty za peníze v podmínkách nejistoty;

- zjistit způsob zohlednění řady jeho nedostatků při použití aritmetických operací s neurčitými množinami, zejména přecenění nejistoty a zjistit, zda lze do modelu s neurčitými množinami zahrnout korelace mezi rizikovými proměnnými;

- porovnat dva pokročilé způsoby při hodnocení rizik s identifikací jejich silných a slabých stránek;

- odpovědět na otázky, jak změna typu rozdělení hustoty pravděpodobnosti finančního dopadu identifikovatelného rizika a jak změna typu funkce příslušnosti může ovlivnit výsledek zkoumaného parametru projektu;

- předložit praktickou aplikac teoretických rozpracování této práce na analýze investičního projektu při navrhování a budování rychlostní komunikace kolem Moskvy.

Obvykle se v metodách analýzy projektu používají: teorie pravděpodobnosti, matematická statistika a ekonometrie. V reálném světě moderního podnikání je použití tradičních metod často obtížně aplikovatelné, protože stanovení rozdělení pravděpodobnosti známých parametrů v podmínkách nedostatečné informace je velmi subjektivistické. V souvislosti s výše uvedeným, je využití úsudků expertů pomocí nástroje TNM velmi perspektivní.

1 Formulace problému, cíl práce a metody výzkumu

1.1 Úvod do problematiky

Všechny subjekty trhu při přijímání svých strategických rozhodnutí narážejí na jeden společný problém – na nejistotu zítřejšího dne. Proto se všichni snaží udělat tento svět více předvídatelným, což vyvolává potřebu plánování a prognózování různých scénářů perspektivního vývoje událostí, zvláště pak při přijetí strategických investičních rozhodnutí. Proto se vytvářejí scénáře budoucích událostí spojených se změnou úrovně cen, rozsahem výroby a prodeje produkce, makroparametrů ekonomiky (úroveň zdanění, sazby krátkodobých úvěrů, tempo inflace atd.), a pak se provádí analýza investičního projektu (IP) v uskutečnitelném hypotetickém scénáři. Pochopitelně optimistické scénáře zlepšují finanční ohodnocení IP a pesimistické jej zhoršují.
Hlavni otázkou je, jaké máme očekávat scénáře při budoucím průběhu IP. Badatelé začínají uvádět význam scénářů v integrální situaci. Zde vznikají dvě otázky:

1. Na jakém základu se tento význam určuje,
2. Zda jsou všechny potenciální scénáře vývoje IP a jeho okolí zohledněny v integrální situaci.

Solidní odpověď na tyto dvě otázky je nesnadná, jelikož chybí základy pro určování vah ve skupině scénářů, ne všechny scénáře jsou zohledněny a ani není možné je všechny zohlednit.
Je možné přejít od diskrétního prostoru scénářů k souvislému a vyměnit diskrétní významové rozdělení faktorů za spojitou hustotou rozdělení. Když máme tato rozdělení při vstupu do modelu, můžeme alespoň přibližně stanovit rozdělení výstupních parametrů modelu (například čistá současná hodnota – NPV, vnitřní výnosové procento - IRR). Tato cesta, i když vyřazuje problém omezenosti scénářů, nevyřazuje jiný problém, a to opodstatněnost modelových pravděpodobnostních rozdělení.
Pokud uvažujeme o klasickém chápání pravděpodobnosti, pravděpodobnost se popisuje jako frekvence stejnorodých událostí odehrávajících se ve stále stejných vnějších podmínkách. V reálné ekonomice ale neexistuje stejnorodost ani stále stejné podmínky. Stejnorodost se nezachovává ani v průběhu času. Například, hodnoty modelu amerického trhu v roce 2009 (po krizi v roce 2008) zdaleka nejsou stejné, jako hodnoty modelu trhu v roce 2006 (před krizí). Kardinálně odlišné jsou všechny makroekonomické parametry. Je zřejmé, že modelu trhu před krizí lze přiřadit určitý scénář pravděpodobnosti, kdežto modelu trhu po krizi budou přiřazeny úplně jiné hodnoty pravděpodobnosti scénáře i hodnoty jeho dopadu.
Vědci věnovali mnoho úsilí tomu, aby se odstoupilo od klasického chápání pravděpodobnosti. Při přecházení od pravděpodobnosti klasické k subjektivní se zvýšila role odborníka (znalce) určujícího pravděpodobnostní váhy, zvýšil se vliv subjektivních preferencí odborníka na ohodnocení. Z toho vyplývá, že čím více subjektivní se pravděpodobnost stává, tím méně vědeckou se jeví.
Objevení subjektivních pravděpodobností v ekonomické analýze není zdaleka náhodné. Tento objev oslavil první strategický ústup vědy před tváří nejistoty, která má neodstranitelnou povahu. To, co se

s velkým úspěchem používá v technice, v teorii hromadných služeb, ve statistice jako vědě o chování většího množství stejnorodých jevů, absolutně selhává v modelech finančního managementu. Badatel má co do činění s omezenou sadou událostí, které jsou různorodého původu. Proto je komplikované udělat závěry na základě získaných informací.

A proto i sám odborník, jeho vědecká aktivita a jeho preference se stávají objektem vědeckého výzkumu. Jistota/nejistota odborníka v hodnocení tak získává kvantitativní podobu, a to už nemá s pravděpodobností vůbec nic společného. Objekt vědeckého výzkumu byl tedy stanoven. Pokud byl do vědeckého výzkumu dříve zahrnut pouze ekonomický objekt, pak v současném finančním managementu je vědecký výzkum doplněn o Rozhodující osobu (RO) – Decision-maker. Touto osobou může být jak finanční manažer, tak finanční analytik připravující rozhodnutí pro manažera.

Hlavní ve formulaci tohoto vědeckého úkolu je, naučit se modelovat subjektivní pravděpodobnost. Je důležité zejména vědět, podle kterých kriterií uskutečňuje RO rozpoznání běžné ekonomické situace, stavu objektu zkoumání a podkladů pro přijetí rozhodnutí. Informace jsou nedostačující, navíc nejsou dost kvalitní. V této souvislosti RO vědomě nebo podvědomě odbočuje od bodového číselného hodnocení, které nahrazuje kvalitativními charakteristikami situace, vyjádřenými přirozeným jazykem, například: velké, malé a nepatrné riziko. Pokud se termíny přirozeného jazyka neporovnají s kvantitativním ohodnocením, pak se mohou interpretovat libovolně. Ale pokud toto hodnocení bylo provedeno jako konvenční model založený na křížení názorů a preferenci celé řády odborníků sledujících zhruba jednu a tutéž ekonomickou realitu, pak toto hodnocení už má větší význam pro modelování ekonomického objektu spolu s údaji o samotném objektu.

Například: co znamená dnes „vysoká procentní sazba úroků“? V tomto případě nemůžeme odpovědět jednoznačně, dokud se nedotážeme některé skupiny společností, využívajících uvěrové zdroje bank. Všechny tyto společnosti používají úvěry za různých podmínek: čím je spolehlivější dlužník, tím nižší sazba úroků je mu stanovena. Každý dlužník je jiný, ale v průběhu souhrnného průzkumu se rýsuje jakýsi ucelený obraz (běžně se interpretuje jako histogram zkoumání). Nemožným se stává určení jakési střední sazby, kolem které se seskupují všechny ostatní sazby. A čím dál doprava po ose x (úroveň procentní sazby) se budeme posouvat od určené střední hodnoty, tím více důvodů budeme mít za předpokladu, že tato sazba je vysoká. Takto můžeme vyčlenit tři skupiny sazeb: „vysoká“, „střední“, „nízká“ – a rozdělit všechny existující sazby do těchto skupin několika způsoby.

Jedním ze způsobů je, že určíme odpovídající intervaly na ose x. Příslušnost ke každému intervalu bude určovat jednoznačné slovní ohodnocení. Pokud budeme dělat tuto práci důkladněji, pak popíšeme naši jistotu/nejistotu při klasifikaci. Určité množiny intervalů se přemění na neurčité podmnožiny s neurčitými hranicemi. Míra náležitosti té nebo jiné procentní sazby k dané podmnožině se určí pomoci funkcí příslušnosti, sestavené podle speciálních pravidel. Takto se nastínily cesty jiného strategického přístupu ke zkoumání nejistoty v ekonomice. Dříve vědci byli

nuceni odmítnout klasickou pravděpodobnost ve prospěch pravděpodobnosti subjektivní.[1] V současné době i subjektivní pravděpodobnost přestala vědce uspokojovat. Stalo se tak proto, že subjektivní pravděpodobnost obsahuje příliš mnoho subjektivního znaleckého hodnocení a příliš málo informací o tom, jak tyto informace byly získány.

Požadavek zachovat adekvátnost používaných modelů nás nutí postupně eliminovat subjektivní pravděpodobnosti z oběhu a nahrazovat je **neurčitými množinami**. Důvodů je k tomu několik:

- neurčité množiny ideálně popisují subjektivní hodnocení pravděpodobnosti RO,
- neurčitá čísla (druh neurčitých množin) se ideálně hodí pro plánování faktorů v čase, kdy jejich budoucí ohodnocení je ztíženo (je nejasné, nemá dostatek statistických podkladů). Proto všechny scénáře týkající se těch nebo jiných jednotlivých faktorů mohou být spojeny do jednoho souhrnného scénáře v podobě **trojúhelníkového čísla**, v němž se určují tři body: minimální dosažitelný, nejvíce možný a maximální dosažitelný význam faktoru. Přičemž váha jednotlivých scénářů ve struktuře souhrnného scénáře se formalizuje jako trojúhelníková funkce příslušnosti úrovně jednotlivých scénářů k neurčité množině souhrnného scénáře;
- můžeme vrátit pravděpodobnostní popisy do svého vědeckého zkoumání jako **pravděpodobnostní rozdělení s neurčitými parametry** (intervalově - pravděpodobnostní přístup). V případě tohoto přístupu se trojúhelníkové parametry rozdělení určují na základě procedury stanovení stupně pravděpodobnosti. Tímto se nastínila cesta pro syntézu pravděpodobnostních a neurčitě-množstevních popisů.

Tento přístup umožňuje odhlednout od statistické stejnorodosti pozorovaných událostí pro sestrojení pravděpodobnostních hypotéz. Ve většině ekonomických a finančních úkolů nemůže být statistická stejnorodost dokázána. Proto není možné používání klasických statistických pravděpodobnostních hypotéz.

Za předpokladu, že výchozí soubor údajů umožňuje posoudit použití některého pravidla, vyjádřeného v pravděpodobnostní nebo jiné podobě, není důvod k používání pouze bodového hodnocení parametrů pravděpodobnostních rozdělení.

Můžeme hovořit o tom, že hodnocení parametrů pozorovaného zákona rozložení pravděpodobnosti je vágní, nepřesné. Přípustná hodnota těchto parametrů leží v určitém intervalu a charakterizuje se určitou mírou možnosti.

---

[1] Pojem klasické pravděpodobnosti definuje P. Hebák ve své praci [18] podle které je pravděpodobnost náhodného jevu dána podílem počtu elementárních výsledků příznivých nastoupení tohoto jevu a počtu všech možných výsledků pokusu. Dale autor uvádí definici subjektivní pravděpodobnosti, jako stupně důvěry jednotlivce ve výskyt určitého jevu.

Neurčitý a intervalově-pravděpodobnostní přístup k formalizaci nejistoty tyto možnosti dává. Všeobecně tyto přístupy umožňují propojit efekt projektu se stavem světa a zároveň dovolují, aby nějaká část tohoto projektu záležela na jeho vnitřní nejistotě. Toto umožňuje posuzovat koncepci neurčitého a intervalově-pravděpodobnostního přístupu k formalizaci nejistoty jako dostatečně všeobecnou a zasluhující široké uplatnění v nejrůznějších oblastech, například v investičním projektování.

Proto provedení srovnání výsledků neurčitého a intervalově-pravděpodobnostního přístupu při provedení aritmetických operací s neurčitými hodnotami (riziko proměnných) je zvlášť důležité, jelikož toto srovnání by umožnilo objevit **zvláštnosti** a **přednosti** jednoho přístupu před druhým.

Existuje celá řada publikací věnovaných teorii fuzzy množin. Nicméně, dosud nebyly vyvinuty nástroje umožňující uplatňování teoretických rozpracování při řešení reálných ekonomických úkolů. Zatím bylo vydáno jen několik publikací věnovaných využití teorie fuzzy množin v ekonomice a podnikání. Jsou to především práce G. a M. Bojadzievy, R. Yager, D. Cox, V.P. Bocharnikov, A.O. Nedosekin.

Rozbor různé literatury, který jsem provedla, ukázal, že dosud nebylo provedeno ani teoretické, ani praktické srovnání výsledků neurčitého a intervalově-pravděpodobnostního přístupu provedení aritmetických operací s neurčitými hodnotami (riziko proměnných).

Na základě tohoto zjištění jsem došla k názoru, že je potřeba provést vědecký výzkum s teoretickými a praktickými důkazy. Dala si za úkol vyřešit problém, který má důležitý teoretický a praktický význam. Tímto problémem je otázka, zda se zachovává poměr mezi funkcí příslušnosti, tj. rozdělením možností a pravděpodobnostním rozdělením (pravděpodobnostní mírou), kdy neurčité číslo je výsledek získaný za použití rozšířených aritmetických operací podle pravidel neurčité matematiky.

Tím bylo předurčeno zapracovat expertní intervalové odhady při modelování pomocí využití různých typů pravděpodobnostních rozdělení a různých typů funkce příslušnosti.

Pro tento výzkum jsem zvolila způsob srovnání dvou obdržených výsledků:

- výsledeky, obdržené na základě použití rozšířených aritmetických operací podle pravidel neurčité matematiky nad výchozími neurčitými intervaly různých typů funkcí příslušnosti;
- výsledeky, obdržené na základě teorie pravděpodobnosti metodou Monte Carlo za použití různých typů pravděpodobnostních rozděleni.

Bylo zjištěno, jak tyto změny mohou ovlivnit výsledky u pozorovaného ukazatele. A také bylo zjištěno, který ze zkoumaných způsobů je robustnější, tj. méně citlivý na změny stavu okolností.

Předložené teoretické a praktické důkazy srovnání dvou porovnatelných přístupů k formalizaci nejistoty (neurčitého a intervalově-pravděpodobnostního přístupu) se doporučují pro řešení různorodých úkolů v ekonomice, zvlášť když se musí brát v úvahu různé kombinace faktorů nejistoty.

1.2 Cíl práce, formulace zkoumaných otázek a metody výzkumu

Objektem zkoumání v této práci je PPP projekt, konkrétně sledování dosažení důležitého ukazatele hodnoty za peníze při rozhodování o realizaci projektu se zohledněním jeho rizik.

Předmětem studia je proces výběru vhodných nástrojů pro tvorbu modelů hodnocení rizik PPP projektů v podmínkách nejistoty.

Cílem této práce je zpracování aplikačního modelu pro hodnocení rizik PPP projektů při sledování dosažení důležitého ukazatele efektivnosti těchto projektů v podobě hodnoty za peníze (VfM) v podmínkách nejistoty spojené s neúplnou informací o základních údajích. Pro dosažení vytknutého cíle bylo nezbytné:

- provést analýzu přístupů ke kvantitativnímu hodnocení rizik v současné praxi řízení rizik;
- provést porovnávací analýzu hlavních pokročilých metod hodnocení rizik s identifikací jejich silných a slabých stránek při formalizaci nejistoty základních parametrů projektu;
- vytvořit metodiku pro hodnocení rizik projektu za podmínek nejistoty pomocí aparátu teorie fuzzy množin;
- předložit návrh modifikované metody k odstranění zjištěných nedostatků;
- zformulovat doporučení pro praktické použití zpracované metody;
- použít modely na konkrétním projektu – zhodnotit výsledky a porovnat s výsledky získanými jiným postupem.

Řešení následujících úkolů vede k vytvoření aplikačního modelu. Při jeho rozpracování a doporučení k aplikaci byl proveden empirický výzkum ověřující stanovený cíl práce. Zobecňujícími úsudky se ve statistice obvykle rozumí bodové odhady a intervalové odhady parametrů či charakteristik na základě náhodných výběrů a testy hypotéz nejrůznějšího typu a zaměření, Hebak [15]. O správnosti či nesprávnosti stanovené hypotézy se rozhoduje na základě šetření výběrového souboru. Vzhledem k tomu, že statistický soubor dat byl získán na expertním základě, tj. nevychází z významné statistické základny, není možné stanovit vědecky správnou hypotézu a následně provést její statistický test významnosti pro ověření výsledků. Proto jsem stanovila předpoklad.

Řešeným problémem a tedy hlavní badatelskou otázkou práce (předpoklad) bylo prokázat, že neurčitý způsob hodnocení rizik je při modelování robustnější vůči případným změnám souvisejícím se změnou typu funkce příslušnosti v porovnání s intervalově-pravděpodobnostním způsobem, v němž byly použity různé typy rozdělení hustoty pravděpodobnosti rizikových proměnných. Ověření tohoto mého předpokladu spočívá v porovnání výsledků dosažených použitím různých způsobů modelování rizik.

Metody výzkumu

Teoretická a praktická část disertační práce je založena na **normativním přístupu,** vycházejícím z mého subjektivního pohledu jako autorky práce při porovnávání pokročilých metod hodnocení rizik projektu typu PPP. Máme-li stanoven předmět zkoumání, výzkumné cíle a zvolený typ přístupu zkoumání, stojíme před otázkou výběru vědecké procedury spolu s výběrem výzkumných metod. Vědeckou procedurou rozumíme postup, jímž posloupně realizujeme úkol související s výzkumem a s realizací výzkumného cíle. Vědecká procedura je současně implementačním postupem uplatňování výzkumných metod. V této práci byly použity následující typy vědeckého postupu podle kritéria zvolených metod, Ochrana [39]:

1. Empirický postup s použitím metod pozorování, měření, experimentování.
2. Teoretický postup s použitím metod induktivních a deduktivních.

Způsob vysvětlení, výkladu zkoumaného problému disertační práce je založen na bázi explanace, při které se postupuje od obecného ke konkrétnímu (jednotlivému) jevu, vztahu.

První tři kapitoly disertační práce jsou založeny na explanačních metodách vykládajících zkoumaný problém na bázi vědeckého vysvětlení. Při klasifikaci v disertaci použitých vědeckých metod se vychází z hlediska univerzálnosti.

Při zpracování práce byly použity jak obecně vědní tak i speciálně vědní metody. Z obecně vědních metod byla použita zejména metoda analýzy, syntézy, indukce a dedukce. S ohledem na výše uvedené cíle práce byly použity tyto vědní metody:

- **Analýze** jako metodě, která je použita na tvorbě koncepcí, často předchází analýza praktická, tj. rozklad, rozdělení objektu na jednotlivé části. Analýza je myšlenkové rozdělení objektů na jejich součásti s následným vymezením jejich vlastností. Analýza vyúsťuje v následné detailní prozkoumání prvků a jejich vlivu na celek. Metoda analýzy dominuje hlavně ve druhé a třetí kapitole zejména při obsahovém zkoumání pramenů zabývajících se věcnou problematikou související s výzkumným předmětem disertační práce. Poté jsou výsledky zkoumání, obvykle metodou syntézy, zformulovány do syntetických závěrů.
- **Syntéza** je myšlenkové spojení předcházející praktickému skládání částí objektu do koherentního celku s ohledem na správné vzájemné umístění částí při spojení. Metoda syntézy byla použita při formulaci poznatku o nejvhodnějším rozdělení rizik mezi partnery a při vytvoření souboru závěrů a doporučení pro analýzu projektů takového typu pro přesnější hodnocení jejich rizik. Metoda syntézy byla použita jako podpůrná metoda v součinnosti s metodou neúplné indukce.
- Indukce a dedukce jsou vzájemně propojeny. V **indukci** se z méně společných znalostí pomocí úsudku dochází k větší míře zobecnění, od jednotlivých určitých jevů k zevšeobecňování. Metodou indukce na základě poznatků z analýzy byl vyvozen závěr o

přednostech pokročilých způsobů hodnocení rizik PPP projektu, zejména neurčitého přístupu, který zvyšuje důvěryhodnost a kvalitu stanovení ukazatele efektivity projektu. Protože metoda indukce má své limity, jak na ně ukazuje např. Ochrana [39] s odvoláním na Russella a Poppera, byl rozpor mezi omezenou množinou zkoumaných prvků a obecností (univerzalitou) vědeckých výpovědí brán na zřetel volbou nekarteziánské (bechelardovské) metodologie. Té právě odpovídá i volba **speciálně vědních metod** (viz použité **metody fuzzy matematiky a fuzzy logiky**), kdy zkoumání v rámci disertace je vedeno v rovině pravděpodobnostních přístupů k hodnocení rizik projektu. Formulované závěry jsou tudíž možnými stavy světů a nikoliv striktní deterministické výpovědi.

- **Deduktivní** uvažování funguje opačným směrem, od zobecnění, od závěrů se dochází ke konkrétním faktům nebo k úsudkům majícím menší míru zobecnění. Metodou dedukce byl definován předmět zkoumání a výzkumné cíle. Cílem bylo dospět k následnému vymezení výchozích premis, ze kterých pak logickou operací byl zformulován závěr. Dedukce byla použita při axiomaticko-deduktivním přístupu při konstrukci modelů pokročilých metod.
- **Komparace** – při porovnávání výsledků neurčitého a intervalově-pravděpodobnostního přístupu pro posuzování rizik projektu z hlediska rozhodujícího ukazatele hodnoty za peníze prostřednictvím funkcí příslušnosti a funkcí rozdělení pravděpodobnosti.
- **Experimentování** – při hodnocení možných vývojů implementace projektu, kde experimentování těsně souvisí s modelem projektu popisujícím predikci jeho chování.
- **Modelovaní** - při procesu zkoumání modelu hodnocení rizik, v rámci něhož měníme jak strukturu, tak i parametry modelu. Pro chápání vlastností zkoumaného objektu a lepší pochopení souvislostí byl vytvořen model. Modelem v této práci rozumíme myšlenkovou reprodukci reálné skutečnosti. Model za definovaných podmínek reprodukuje zkoumaný objekt a jeho chování, což umožnilo lépe pochopit zkoumané souvislosti. Modely prezentované v 4. kapitole umožnily provést explanaci čili predikci výsledků zkoumaného problému. Při interpretaci výsledků vědeckého zkoumání byly brány na zřetel podmínky fungování modelu, na nichž je fungování modelu postaveno, a byla tato skutečnost promítnuta do závěru.
- **Expertní metoda** – v rámci zpracování disertační práce byla tato metoda základem pro stanovení a získání potřebných charakteristik rizikových faktorů projektu potřebných pro analýzu efektivity projektu z pohledu veřejného sektoru pro rozhodnutí o implementaci tohoto projektu.

Téma a stanovené cíle determinují strukturu práce, která se skládá ze šesti kapitol.

První kapitola se zaměřuje na kritické zhodnocení dosavadního stavu poznání v oblasti strategických investičních rozhodnutí. Klade zejména otázku, nakolik je vědecky opodstatněno použití pravděpodobnostního přístupu při hodnocení rizik projektu v podmínkách nejistoty a nastiňuje možnost formalizace nejistoty adekvátnějším přístupem za použití teorie neurčitých množin.

Druhá kapitola se zabývá klasifikací druhů nejistoty a analýzou přístupů k jejímu modelování. Dále jsou zde zkoumány tradiční metody hodnocení ekonomické efektivnosti investičního projektu v podmínkách rizika a nejistoty s důrazem na jejich přednosti a nedostatky. V závěru kapitoly je předložena další metoda, metoda založená na užití teorie neurčitých množin demonstrující přístup, který se dá považovat za vhodnější a spolehlivější nástroj k řešení stanoveného cílu práce.

Třetí kapitola zužuje zkoumanou problematiku a uvádí podstatu PPP projektu s jeho specifikou, přednostně se zvláštností jeho rizikových analýz při posouzení jeho efektivity z pohledu zkoumaného ukazatele hodnoty za peníze (VfM).

První tři kapitoly disertační práce jsou záměrně ryze teoretického charakteru. Důvodem je specifikum předmětného oboru výzkumu této práce, neboť se nachází v interdisciplinárním prostoru různých vědních oborů: aplikované matematiky, statistiky, veřejných financí a správy, investičního rozhodování a ekonomiky dopravních služeb a stavební infrastruktury, zejména v oblasti výstavby silničních komunikací. Čtvrtá a pátá kapitoly mají jak teoretický tak i praktický význam.

Čtvrtá kapitola uvádí metodologický přístup k hodnocení rizik projektu typu PPP s rozborem hlavních používaných metodik. Při analýze je přitom kladen důraz na porovnání možností zahrnutí nejistoty do dvou pokročilých způsobů, a to do intervalově-pravděpodobnostního a do neurčitého.

Pátá kapitola má jak teoretickou část zkoumající metodologické problémy propojení a rozhraničení implementovaných nástrojů při operování s nejistotami, tak i část praktickou, v níž se popisuje řada zjištěných problémů při implementaci těchto způsobů na reálném projektu.

Šestá kapitola představuje aplikaci výše popsaných pokročilých přístupů k hodnocení rizik projektu typu PPP a prokazuje účinnost navrženého algoritmu pro řešení nedostatků obou nástrojů. Pro ověření předpokladu o vhodnějším použití neurčitého přístupu před intervalově-pravděpodobnostním bylo provedeno porovnání dosažených výsledků za použití různých typů pravděpodobnostních rozdělení a funkcí příslušnosti, zejména zkoumání výsledného ukazatele v citlivosti na tyto změny. Představené praktické výsledky byly porovnány a na základě porovnání byl vyvozen závěr.

Závěr představuje teoreticko-metodologické vyústění práce. Jsou v něm syntetizovány teoretické výsledky zkoumání a současně formulována doporučení pro praktické použití navržených modifikovaných způsobů hodnocení rizik v podmínkách nejistoty pro budoucí PPP projekty.

2 Základní přístupy k formalizaci nejistoty v úkolech strategického řízení reálných investic

2.1 Klasifikace druhů nejistoty a rizika v úkolech přijetí strategických investičních rozhodnutí

Při procesu přijímání strategických investičních rozhodnutí (SIR) je nemožné získat přesné a úplné údaje o všech fungujících i potenciálních vnitřních a vnějších faktorech.

Nejistota, která přináší značné potíže při modelování úloh přijetí strategických rozhodnutí, je důsledkem mnoha faktorů (některé čerpány z elektronického zdroje [7]):

- existence objektivních náhodných jevů a procesů s neznámými funkcemi rozložení;
- neúplnost, rozpornost, zkreslování informace – důsledkem je nízká přesnost informace, kterou dostáváme od subjektů řízení i z vnějšího prostředí fungování společnosti;
- neúplnost a nepřesnost znalostí zákonů přírody, znalostí společnosti a ekonomiky;
- chyby v modelování a získávání informace;
- principiální nemožnost kvantitativního hodnocení charakteristik na dané úrovni vývoje znalostí;
- neurčitost parametrů budoucích událostí a projektů, jevů, faktorů;
- závislost cílů, kritérií na profilu RO (psychologie, motivace, kompetentnost);
- nejistota v chování konkurence;
- více variant možných scénářů vývoje událostí;
- nedokonalost metod prognózování;
- působení faktorů času, okolností vyšší moci;
- častá změna podmínek trhu, určujících dynamiku podnikatelského procesu;
- rozdílnost zájmů, cílů, úkonů, vzájemných vztahů účastníků;
- potíže při obdržení výchozích údajů, nezbytných pro vyřešení úloh ve finančně-investiční činnosti podniku, zvláště pak v raných etapách jejich projektování;
- možné změny ve stupni dostupnosti ke zdrojům.

Uvedené zvláštnosti prakticky neumožňují použití tradičních matematických metod, včetně metod teorie pravděpodobnosti.

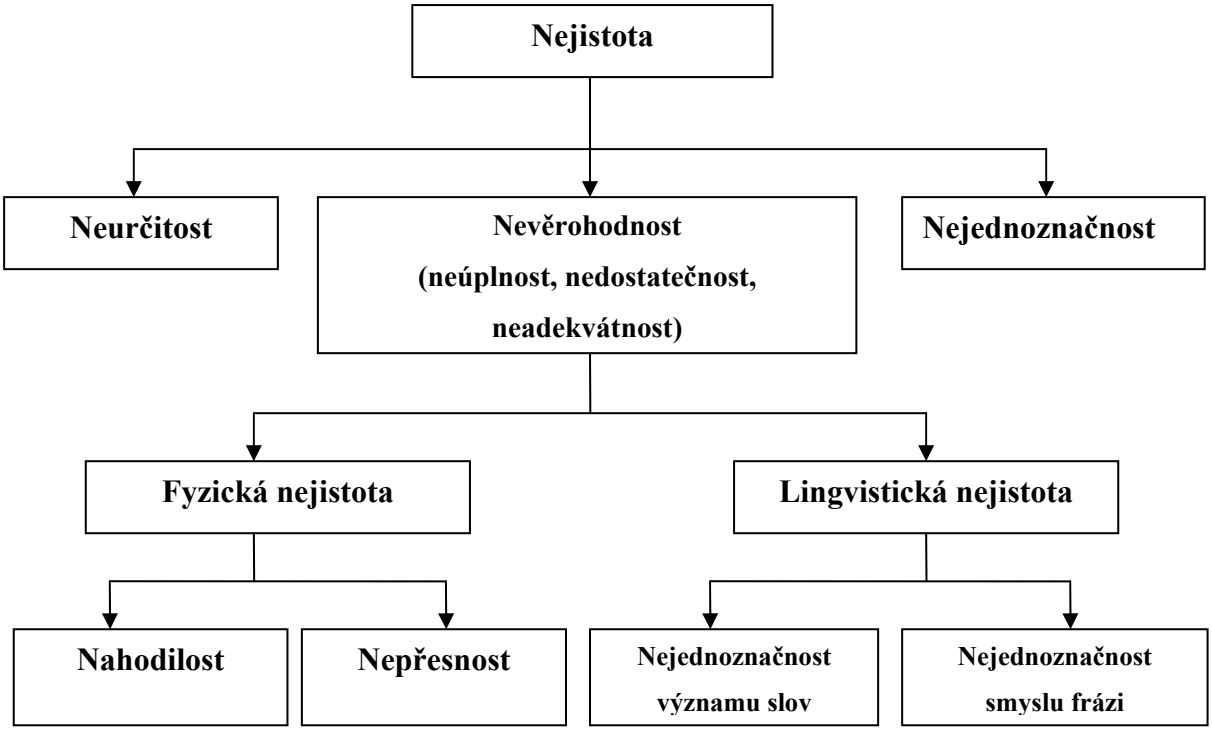
Klasické matematické modely a metody, které se používají při řízení investiční činnosti v nestabilních podmínkách, nepřinášejí očekávaný výsledek.

Proto jsem vypracovala nové, na nejistotu orientované modely za použití strategického řízení a řízení investiční činnosti podniku.

Nejistotou se rozumí neúplné předvídání situace, které nevylučuje pravděpodobnostní výskyt možných stavů prostředí.

Podotýkám, že kritéria rozhodování v podmínkách nejistoty nemají úplně racionální zdůvodnění, neboť nejistota ve výchozích informacích vede k nejistotě rozhodnutí.

Klasifikaci základních druhů nejistoty si můžeme představit v podobě schématu (obr.1.1).



Obr. 1.1 Klasifikace druhů nejistoty. Čerpáno z www. strránky [8]

Konkretizace vyjmenovaných druhů nejistoty za účelem přijetí SIR je dána níže.

První úroveň znamená kvalitativní charakteristiku množství chybějící informace o údajích SIR.

Neurčitost vzniká při velmi omezeném množství potřebné informace, tj. informace prakticky chybí (počáteční stádium studia úkolů).

Tato situace může vzniknout, například, při vstupu na nové odbytové trhy.

Při shromažďování informace v určité etapě se může stát, že ještě není shromážděna veškerá možná (neúplnost) nebo veškerá potřebná (nedostatečnost) informace pro IP a pro podmínky jeho realizace při odůvodněném použití určité matematické metody, například metody Monte Carlo.

V případě, kdy při shromažďování informací nejsou pro některé parametry IP stanoveny jejich přesné popisy, ale jen nejasné nástiny, vzniká **nejistota.**

Neadekvátnost existuje při popisu parametrů IP pouze analogicky s již realizovanými IP, tj. existují pouze nahrazující popisy.

Nutno podotknout, že existence těchto druhů nejistoty (nevěrohodnosti) je spojena jen s tím, že proces shromažďování informací je dočasně pozastaven kvůli nedostatku zdrojů (finančních, časových a jiných) určených pro shromažďování informace. Nicméně možnost výsledného prodloužení studia úkolů existuje. Další výzkum může vést buď k situaci **určitosti,** v níž všechny prvky úkolů a parametry IP jsou popsány jednoznačně, nebo k situaci **nejednoznačnosti,** při níž se předpokládá, že veškerá možná informace o úkolu není shromážděna úplně, jelikož to není možné.

Druhá úroveň popisuje zdroje důvodů objevení nejednoznačnosti, kterými jsou vnější prostředí (fyzická nejistota) IP a RO používaný odborný jazyk (lingvistická nejistota), Gorodeckij [15].

Fyzická nejistota je spojená jak s existencí několika možností ve vnějším prostředí, z nichž každá se náhodou stává skutečností (situace nahodilosti), tak i s nepřesností měření prováděných fyzickými přístroji (situace nepřesnosti), Gorodeckij [15].

Pod nepřesnosti se rozumí absence úplných znalosti týkajících se některých prvků SIR, například, budoucích hodnot předpověděných parametrů IP. V mezích této klasifikace zařazení nahodilosti a nepřesnosti k nejednoznačnosti předpokládá znalost odpovídajících zákonů rozdělení pravděpodobnosti.

Lingvistická nejistota je spojena s užitím odborného jazyka RO pro popis SIR. Tato nejistota se determinuje nezbytností operovat konečným počtem slov a omezeným počtem slovných frází pro popis nekonečné množiny různorodých situaci vznikajících v procesu přijímání rozhodnutí. Tato nejistota je jednak důsledkem množství znalostí pojmů slov jazyka (homonymie) a dále také – nejednoznačností smyslu frází, Gorodeckij [15].

Podle výše uvedeného je zapotřebí pro přijetí efektivního strategického rozhodnutí týkajícího se IP prognózovat situaci na základě přesně adjustovaných předpokládaných výpočtů, ale při nich mohou vzniknout problémy v evidenci nejistoty v těchto výpočtech. Situace se dost komplikuje tím, že nejistota, která přísluší IP, nemá vždy statistickou podstatu. Tato skutečnost má několik důvodů. Za prvé: při plánování dlouhodobých IP je zapotřebí snažit se mít na zřeteli události makropolitického a makroekonomického vlivu, což má absolutně nestatický vliv na změny např. daňového prostředí. Za druhé: při plánování a přípravě nového IP, který nemá žádnou obdobu v minulosti, v podstatě neexistují jakákoliv statistická data. Kvantitativní metody založené na statistických údajích mohou být někdy adekvátně použity v případě hromadné obsluhy, která již má svoji historii na trhu, nebo když investice jsou spojeny s rozhodnutím o rozšíření a vůbec nejsou použity v případě uvedení nového zboží na trh. Za třetí: nelze nebrat v úvahu spoustu subjektivních faktorů, realizaci IP, utajenost informace pod záminkou obchodního tajemství, cílevědomé zkreslení výkazové informace atd.

Všechno toto má za následek nejistotu prognózy, a tudíž i riziko realizace IP. Právě proto při modelování a provádění předpokládaných výpočtů je nutné formálně popsat budoucí předpokládané hodnoty některých parametrů IP, které mají různorodou podstatu nejistoty, a změřit riziko IP.

Pro provedení dalšího možného výzkumu jsem musela rozdělit pojmy **riziko** a **nejistota**. Riziko je přítomno prakticky ve všech sférách lidského života. Nemůžeme pojem formulovat přesně a jednoznačně, jelikož **riziko** záleží na sféře jeho vlivu. Existence rizika je podmíněna nemožností s určitosti na 100 % předpokládat budoucnost. Na základě této skutečnosti musíme vyčlenit základní vlastnost rizika: riziko má své místo vůči budoucnosti a je neodmyslitelně spojeno s prognózováním a plánováním, to znamená s přijetím rozhodnutí vůbec. **Nejistota** je zdrojem rizika při přijetí rozhodnutí. V tomto případě je nejistota objektivní. Ačkoli je podstata vzniku rizika jako ekonomického jevu objektivní, má jako základní odhadní ukazatel úroveň rizika, charakter subjektivní.

Tato subjektivita, tj. nerovnocennost ohodnocení daného objektivního jevu několika subjekty, je dána úrovní úplnosti a věrohodnosti informace, základny, kvalifikace finančních manažerů, jejich zkušeností ve sféře riziko-managementu a řadou jiných faktorů. Při objektivní existenci nejistoty je riziko pro každý projekt i pro každého účastníka různé jak z kvalitativního, tak i z kvantitativního hlediska.

V uvedeném výzkumu, který jsem provedla, bylo posouzeno riziko z celkového pohledu jako číselné vyjádření změřené možnosti příchodu nepříznivých událostí, které mají za následek různorodé ztráty hospodařícího subjektu (ztráta svých zdrojů, vznik škody, získání neúplných příjmů, výskyt dodatečných výdajů). V důsledku uskutečnění určité činnosti je možnost příchodu nepříznivých událostí při přijetí rozhodnutí úzce spojena s procesem vzájemného působení s prostředím trhu, které má vlastnosti nejistoty.

Přitom je nutno podotknout, že pojmy nejistota a riziko nejsou totožné, jak se poměrně často chápou. Možnost příchodu nepříznivé události se nesmí spojovat pouze s jedním ukazatelem - pravděpodobností výskytu. Stupeň této možnosti se charakterizuje různými ukazateli v závislosti na matematickém přístupu, který se používá pro formalizaci nejistoty. Jak uvidíme dále, riziko se může také formalizovat na základě nástroje TNM.

Nejistota je neodmyslitelně spojena s neúplnosti informace. Jak uvádí Hebák [18], o nejistotě se mluví v souvislosti s těmi nekontrolovatelnými veličinami, jejichž hodnotám nebo intervalům hodnot nejsme schopni přiřadit žádné rozumné pravděpodobnosti. Je zřejmé, že použití jakýchkoliv ekonomicko-matematických metod pro zdůvodnění IP nebude efektivní, pokud jako informační základna bude použitá neúplná a nedostatečná informace, která může mít za následek vážné negativní důsledky až do bankrotu. Jelikož nejistota je zdrojem rizika, musíme se snažit ji minimalizovat, a to tak, že musíme získávat kvalitní, věrohodnou a vyčerpávající informaci a snažit se stáhnout nejistotu na nulu, tj. k úplné jistotě. Bohužel, v praxi se nedaří získávat úplnou a kvalitní informaci často kvůli vysokým nákladům nebo fyzické nemožnosti. Proto při přijímání rozhodnutí v podmínkách nejistoty ji musíme formalizovat a odhadnout riziko, jehož zdrojem ona je.

Na základě výše uvedeného je nezbytnou podmínkou (dovolující získat dostatečně adekvátní rozhodnutí pro vytvoření adekvátních matematických modelů a efektivního programového vybavení pro řešení úkolů týkajících se strategického řízení reálných investic) všestranné zahrnovat do úvah nejistotu při formalizaci a zpracování informace, která je k dispozici. Přitom naprosto přesné ohodnocení vstupních parametrů ekonomicko-matematických modelů IP se nejeví jako možné v důsledku množství neodstranitelných nejistot, působících na parametry projektu. Proto vzniká potřeba vypracovat nové metody modelování strategických úkolů včetně použití prostředků TNM.

Skutečně, předpokládaným parametrům IP je vždycky možné dát neurčitý popis na základě dodatečné a znalecké posudkové informace. Pak je nepřesnost výchozí znalecké posudkové informace podmíněna nejistotou znalců ve svém posudku vyjádřenou mnohoznačnou stupnicí pravdivosti. Zkoumaný objekt může patřit ke skupině, popsané pojmem, poměrem nebo výrokem, nebo tam nemusí patřit, ale jsou možné i mezilehlé hranice příslušnosti. Při neurčité výchozí informaci v podobě neurčitých pojmů a poměrů mohou být vyjádřeny všechny prvky a úkoly: alternativy, výsledky a závislosti mezi nimi, zhodnocení pravděpodobnosti příchodu výsledků, kriteriální zhodnocení výsledků, přednostní RO, rozhodující pravidlo. Neurčitý popis vzniká v následujících případech:

1. Při omezení zdrojů modelování (časových, finančních a jiných), které nedovoluje získávat přesnou informaci nebo sestrojit s potřebnou věrohodností pravděpodobnostní rozdělení, vede k potřebě využívání znalosti znalců a expertů, které se projevují v neurčité slovní podobě.
2. Když ze smyslu úkolu je jasné, že předpovídané hodnoty, například NPV a jiné, jsou ve značné míře nejistými hodnotami, jelikož budoucí peněžní toky, procentní sazby atd. se charakterizují nejistotou různých druhů. Příčinou této skutečnosti je vliv mnoha různých faktorů, jako jsou například budoucí ceny, úroveň inflace, konjunkturní prostředí, změny priorit potřeb atd. Existence těchto nejistot různého druhu je základem pro popis vstupních proměnných IP neurčitými intervaly.

2.2 Analýza přístupů k modelování nejistoty

Nejistota a nepřesnost se mohou posuzovat jako dva opačné názory na stejnou realitu – neúplnost informace. Přepokládejme, že informace je vyjádřena v podobě logického výroku, obsahujícího predikáty, a v případě potřeby kvantifikátory.

Pod pojmem **„báze znalosti“** budeme rozumět množství informací, které má subjekt nebo skupina subjektů, nebo informace, které obsahuje informační systém a které se vztahují ke stejné problémové oblasti. Pak se predikáty, objevující se při projevu informace, mohou interpretovat jako podmnožina stejné univerzální množiny.

Jakýkoliv výraz může být posuzován jako tvrzení vztahující se ke vzniku nějakého jevu. V první řadě jsou jevy představeny v podobě podmnožiny této univerzální množiny, nazvané „jistý jev“.

Existují tři ekvivalentní způsoby analýzy množiny údajů v závislosti na tom, zda se klade důraz na strukturu (logický názor), obsah (teoretika většinových názorů) této informace nebo na její vztah ke skutečným faktům (objektivní názor).

Pokud informační jednotku určují 4 prvky, Djubua, Prad [8], (**objekt, příznak, hodnota, jistota**), pak příznaku odpovídá funkce, která zadává hodnotu nebo množství hodnot objektu.

Tato hodnota odpovídá některému predikátu, tj. podmnožině univerzální množiny, spojené s touto hodnotou. Jistota je ukazatelem spolehlivosti informačního prvku. Je zřejmé, že 4 prvky, které vytvářejí celkový informační prvek, jsou jeho složkami. Tyto složky mohou být například: množství objektů, množství příznaků, n-místný predikát, různé stupně jistoty.

V tomto kontextu je možné určit pojmy nepřesnosti a nejistoty**: nepřesnost** patří k obsahu informace (prvku „**hodnota**“) a **nejistota** patří k její pravdivosti, pod níž rozumíme shodu se skutečností (prvek „**jistota**“).

Stupeň nejistoty informace se zobrazuje pomocí kvalifikátorů (modality) typu „patrně“, „možná“, „je potřeba“, „pravděpodobně“ a jinými, jejichž význam upřesňuji níže.

Modalita „patrně“ byla zkoumána dvě století. Patrnost má dvě různé interpretace.

Jedna z nich – fyzická (statistická) je spojena s provedením statistických zkoušek a určením frekvence vzniku jevů. Druhá je spojena se subjektivním názorem. Modalitu „možná“ a „je potřeba“ zkoumal již Aristoteles, který zdůrazňoval skutečnost jejich dvojitosti (pokud některý jev je jistý, pak opačný jev není možný). Je zajímavé, že v protikladu s pojmem „patrně“ se pojmy „není možné“ a „je jisté“ často posuzují v rámci dvouznačné logiky (ano/ne) jako kategorie typu „všechno“ nebo „nic“.

Ale pojem „možná“ stejně jako pojem „patrně“ toleruje dvě interpretace: fyzickou – míra náročnosti některého vykonaného úkolu, a epistemologickou (teorie lidského poznání).

Naopak „je nezbytné“ je mnohem více kladný pojem jak ve fyzickém, tak i v epistomologickém smyslu (subjektivní potřeba je určitost, jistota).

Je zřejmě vhodné dovolit existenci stupňů možnosti a nutnosti stejně jako stupně pravděpodobnosti (odstíny možností se najdou už i v přirozeném jazyce, jelikož je možné říci, například „je velmi možné“).

Pravděpodobnost a důvěra mají často epistemologickou interpretaci a jsou přiměřeně spojeny s možností a potřebou.

Každý z těchto pojmů odpovídá některému způsobu výstupu ze zadané bázi znalosti: důvěru vyvolává všechno, co bezprostředně deduktivně vychází z báze znalosti, a pravděpodobně i všechno, co není v rozporu s touto bázi (induktivní názor).

Existují i jiné kvalifikátory pro popis nepřesnosti, jako například „vague“ (nejasný, vágní), „fuzzy“ (neurčitý, neostrý), „general“ (zobecněný), „ambiguous“ (dvojsmyslný).

Dvojsmyslnost představuje formu nepřesnosti spojenou s jazykem: někdy je důsledkem homonymie jazyka. Informace je dvojsmyslná do té míry, do jaké patří k různým kontextům nebo různým možným databázím (univerzálním množinám). Neurčitý, neostrý, nejasný charakter informace spočívá v neexistenci určitých hranic v množině hodnot příslušných objektů. Mnohé kvalifikátory přirozeného jazyka jsou nejasné a pro ně je charakteristické zobecnění.

Tradičně používáme dva typy znázornění neúplnosti údajů: teorii pravděpodobnosti a teorii chyb. Krátce jsem prozkoumala jejich zvláštnosti a oblasti jejich použití.

Teorie pravděpodobnosti je matematická věda, která zkoumá zákonitosti charakterizující náhodné jevy. Teorie pravděpodobnosti je jednou ze základních disciplin ve vzdělávání specialistů různých oborů.

Společně s matematickou statistikou představuje teorie pravděpodobnosti základ matematicko-statistického nástroje, který se široce používá v různých výzkumech.

Badatel zakládá své úvahy a závěry na výsledcích konkrétního pozorování fyzických a ekonomických ukazatelů a opírá se o modelové představy o zkoumaném jevů, a tímto vybírá způsob studia problému.

Základním pojmem v teorii pravděpodobnosti je pojem náhodného (pravděpodobnostního) experimentu, tj. takového úkonu, jehož průbeh může mít několik variant.

Každý experiment vychází z některého jemu odpovídajícího **reálného komplexu podmínek,** jejichž realizací dochází k těm nebo oném jevům. Jelikož dopředu (před začátkem experimentu) není známo, který jev se stane, tak se tyto jevy nazývají jevy náhodnými. Proto můžeme říci, že předmětem teorie pravděpodobnosti jsou náhodné jevy posuzované jako výsledek náhodných experimentů.

V teorii pravděpodobnosti se počítá s tím, že každý náhodný jev v rámci daného experimentu je možné charakterizovat pravděpodobností (stupněm pravděpodobnosti) jeho splnění, vyjádřenou v podobě nezáporného čísla nepřevyšujícího hodnotu jedna.

Teorie pravděpodobnosti se nezabývá samotnými experimenty, ale pouze modely experimentů, tj. jejich popisem za pomoci slov, matematických symbolů a poměrů. Model abstrahuje od některých (nepodstatných) aspektů skutečnosti a podle míry možnosti přesně respektuje jiné aspekty, podstatné pro úkoly, které se řeší.

V rámci teorie pravděpodobnosti musí náhodné jevy vyhovovat třem zásadním předpokladům, jejichž splnění ve zkoumané reálné skutečnosti se nazývá **podmínkami působení statistické stejnorodosti zkoumaného souboru:**

- První předpoklad spočívá v tom, že náhodné hodnoty jsou výsledkem působení mnoha různých příčin, které jsou vlastní reálnému komplexu podmínek, které nepodléhají přísné evidenci a kontrole a přidávají mu stochastický (**náhodný) charakter**.

- Druhý předpoklad spočívá v tom, že je principiální možnost vícenásobného neomezeného pozorování při **opakování** posuzovaného experimentu v neměnných rámcích působení stejného komplexu podmínek. Přitom se předpokládá stejný komplex podmínek experimentu, který doprovází náhodné rozpětí ve výsledcích pozorování.
- Třetí předpoklad, kterým se v teorii pravděpodobnosti omezuje třída posuzovaných náhodných experimentů a jim odpovídajících náhodných jevů, a který přisuzuje náhodnému jevu míru pravděpodobnosti, jako možnosti jeho realizace, je požadavek splnění **vlastnosti stability frekvenci.**

Při neomezeném zvětšení počtů pozorování se relativní frekvence jevu A neomezeně přibližuje k některé stálé hodnotě p (A), která se nazývá pravděpodobností tohoto jevu.

Jevy je možné rozdělit na následující tři druhy: **jisté,** které se určitě stanou při jakékoliv realizaci komplexu podmínek; **nemožné,** které se vyloženě nestanou v důsledku experimentu; **náhodné,** které se v důsledku experimentu mohou, ale nemusí stát.

Dnešní teorie pravděpodobnosti je vypracovaná matematická teorie s jasnými a všeobecně přijatými axiómy. Hlavní z nich je **axióm aditivnosti** pravděpodobnosti společných jevů. Spory kolem teorie pravděpodobnosti se týkají i její interpretace.

Teorie pravděpodobnosti se historicky používala zejména pro výpočet šancí v hazardních hrách, přičemž pravděpodobnost jevů se určovala poměrem počtu příznivých výsledků k počtu možných výsledků. Nedostatečná přesnost této definice dala vzniknout frekvenční interpretaci pravděpodobnosti, v níž se pravděpodobnost posuzuje jako mezní hodnota frekvence pozorovaných jevů.

Subjektivistická škola se zkusila vyhnout potížím při aplikování teorie - požadavků dostatečného počtu pozorování, opakovanosti experimentů, apod. a navrhla interpretaci pravděpodobnosti jako míru nejistoty. Hodnota pravděpodobnosti se zde chápe jako číslo odpovídající částce, kterou bude subjekt ochoten zaplatit v případě, že výrok, který se dle jeho tvrzení jeví jako pravdivý, ve skutečnosti bude nepravdivý. Bylo ukázáno, že stejným způsobem určitá míra nejistoty podléhá axiómům teorie pravděpodobnosti, jen pokud chování subjektu vyhovuje podmínkám racionality Freidman [14].

Na základě tohoto subjektivisté začali tvrdit, že Kolmogorovovy axiómy[2] jsou jediné racionální podmínky pro ohodnocení pocitu nejistoty. Toto krátké posouzení omezení tradičních modelů

---

[2] Prvky $\omega \in \Omega$ se nazývají **elementární** prvky $F \in \mathcal{F}$ se nazývají **náhodné jevy**. První axiom zavádí pravděpodobnost jako nezápornou množinovou funkci na nějakém systému podmnožin Ω a říká, že každému náhodnému jevu umíme přiřadit pravděpodobnost. Druhý axiom říká, že jev jistý má pravděpodobnost 1. Třetí axiom, takzvaná σ-aditivita pravděpodobnostní míry říká, že pravděpodobnost nejvýše spočetného sjednocení disjunktních náhodných jevů je

nepřesnosti a nejistoty bylo provedeno za účelem zdůvodnění potřeby popisu společného širšího plánu pro teorii pravděpodobnosti, v němž by tyto pojmy měly své patřičné místo a byly by otevřeny spojení a rozdílnosti. V době, kdy pravděpodobnosti budou přizpůsobeny ke zpracování přesných, ale navzájem si odporujících výsledků zkoušek, budou **míry možnosti** přirozeným prostředkem pro založení bází znalostí, i když nepřesných, ale dohodnutých. **Teorie neurčitých množin** a **teorie možnosti** se používají pro řešení úkolů, v nichž nejistota výchozí informace ji nedovoluje zpracovat za pomoci klasických pravděpodobnostních metod. V podmínkách nedostatečnosti a nejistoty informace se neurčitá čísla mohou používat pro určení rozdělení možnosti, které představují vrchní a spodní hranice pro širokou skupinu pravděpodobnostních rozdělení, která odpovídají stávajícím údajům.

Přijetí rozhodnutí ve všech (bez výjimky) oblastech lidské činnosti je bezpodmínečně spojeno se shromažďováním a zpracováním informace. Shromažďování a zpracování výchozí informace jsou potřebné pro zajištění hloubkového pochopení odehrávajících se procesů a přijetí správného rozhodnutí.

Adekvátní matematické modely a efektivní metodiky řešení různorodých úkolů vyžadují všestrannou evidenci vlivu faktorů nejistoty, zejména:

- účelových podmínek (více kriteriální);
- modelovaných objektů a předmětových oblasti (existence lingvistické expertní informace popisující objekt, nedostatek možnosti statistického popisu kvůli unikátnosti a nestereotypnosti situaci);
- výchozí a aktuální informace o odehrávajících se procesech (rozpornost, nepřesnost, neurčitost, nejednoznačnost atd.).

Tradičně jsou pro řešení úkolů v podmínkách nejistoty používány **pravděpodobnostně-statistické metody**. Jak ale ukázala praxe, je použití pouze těchto metod pro řešení praktických úkolů omezeno následujícími okolnostmi:

- nutností evidence faktorů nejistoty, které nemají statistický původ (subjektivní ohodnocení, znalecko-lingvistická nejistota atd.);
- stávající informace, která je převážně slovní, znalecká;
- nedostatečnost statistické informace, nebo její nedostatečná důvěryhodnost;
- omezenost informace, která nevede k přesně stanovenému rozložení pravděpodobnosti.

---

rovna součtu pravděpodobností těchto jevů. To, že takové sjednocení náhodných jevů je opět náhodný jev je zaručeno volbou $\mathcal{F}$ jako σ-algebry. [3]

Nepočítáme-li s těmito okolnostmi, pak dostáváme neefektivní a vědomě nepřijatelná rozhodnutí. Proto se objevila potřeba používat místo pravděpodobnostně-statistických metod nové přístupy k modelování a zpracování neurčitých údajů, znaleckých posudků, neurčitých množin. V posledních letech pro řešení praktických úkolů byly navrženy různé postupy zakládající se na teorii chyb, subjektivní pravděpodobnosti, intervalových průměrů, modální logice aj. Zkoumání a zkušenosti z praktického užívání těchto postupů ukázaly, že jejich využití přináší různé potíže, z nichž hlavní jsou: nemožnost současné evidence nejistot různého původu, kvantitativně a kvalitativně vyjádřené informace.

V podmínkách nedostatku (nízkého rozsahu) statistické informace a stejně tak i nejistoty výchozí informace je účelné ji formalizovat pomoci nástroje TNM (teorie neurčitých množin) a teorii možnosti.

Je dokázáno, že **normalizované rozložení možností** je neurčité číslo (neurčitý interval) s odpovídající funkcí příslušnosti, a rozložení možností formalizuje vrchní a spodní hranici pro širokou skupinu hodnot, které se vztahují ke známému pravděpodobnostnímu rozložení.

Ve výsledku je pravděpodobnostní interpretace funkce příslušnosti neurčitého čísla (neurčitého intervalu) těsně spojena s intervalově-pravděpodobnostním přístupem k normalizaci nejistoty podstatného druhu (intervalově-pravděpodobnostní nejistota).

Je nutné podotknout, že dokonce i v nepříliš častých případech, kdy některým parametrům řešeného úkolu je možné přidělit odpovídající pravděpodobnostní rozložení zjištěná na základě zpracování statistické informace, a při tom statistická jednorodost pozorovaných jevů nemůže být dokázána, pak získávaná pravděpodobnostní rozložení budou obsahovat určité chyby. Ve výsledku existuje výběr z několika blízkých pravděpodobnostních rozložení, která mohou odpovídat popisu dané situace. Tento jev odpovídá určitému druhu nejistoty – **intervalově-pravděpodobnostní nejistotě**.

Pro kvantitativní ohodnocení účinnosti projektů v podmínkách intervalově-pravděpodobnostní nejistoty bude vhodný následující postup. Účinnost projektu je náhodnou veličinou, ale zákon rozložení pravděpodobnosti není přesně znám. Jinými slovy, máme nějakou množinu (skupinu, řadu) přípustných, tj. dohodnutých s existující informaci pravděpodobnostních rozložení, do které patří známý zákon rozložení pravděpodobnosti účinků tohoto projektu. Například, existuje situace, při níž stupeň možnosti jakéhokoliv účinku je vyjádřen ne určitým číslem, ale funkcí rozložení pravděpodobnosti efektu.

Je důležité upozornit na jeden z důvodů vzniku intervalově-pravděpodobnostního rozložení. Pro tento účel porovnáme přístupy k hodnocení projektů při intervalové nejistotě a při využití subjektivních pravděpodobností. V obou případech máme nějakou množinu možných účinků projektu. Subjektivní pravděpodobnosti se objevují v okamžiku, kdy ekonomický subjekt spojuje účinek projektu s tím nebo jiným možným stavem (stavem světa). Tyto pravděpodobnosti vyjadřují shodu s pravidly racionálního ekonomického chování přednosti subjektu ve vztahu k možným

stavům světa. Jak uvádí Tichý [51] ve své knize: „ … V rizikologické literatuře se velice často setkáváme (zejména v souvislosti s expertními metodami) s používáním názvu „pravděpodobnost“ nikoli ve smyslu teorie pravděpodobnosti, nýbrž ve významu, který se dá přesněji označit souslovím **pravděpodobná možnost**“.

Navíc tyto pravděpodobnosti nemají žádný vztah ani k postupu ohodnocení projektu, ani k samotnému projektu – ony jsou určitými charakteristikami ne projektu, ale vnějšího prostředí. Proto pokud ekonomický subjekt již přijal některé subjektivní pravděpodobnosti a chová se jak je třeba, pak je použije i při ohodnocení jakéhokoliv jiného projektu.

Pokud již obdržel dodatečnou informaci o „stupni možnosti“ toho nebo jiného jevů, pak musí přehodnotit svůj subjektivní názor, což se okamžitě projeví ve všech jeho následujících rozhodnutích.

Úplně jiná situace je za podmínek **intervalové nejistoty**. Zde nejistota není mimo projekt a je zabudována přímo do projektu. Proto mnohotvárnost možných účinků projektu se zde spojuje ne „se stavem světa“, ale se zvláštnostmi samotného projektu.

Takže pokud přijmeme, že ekonomický subjekt určil (subjektivní nebo objektivní) pravděpodobnosti různých možných hodnot účinku, tak mu to stejně nepomůže při určování těchto pravděpodobnosti pro jiný projekt.

Proto použití Hurwiczová vzorce[3] bude opodstatněno tam, kde nejistota účinku projektu je podmíněna v první řadě samotným projektem a ne vnějším prostředím.

Přitom zdůrazníme, že situace intervalové nejistoty vylučuje pro ekonomický subjekt jakoukoliv možnost získání dodatečné informace o pravděpodobnosti těch nebo jiných významů účinku - říkáme, že o nich nic nevíme až do začátku realizace projektu.

Z tohoto porovnání je vidět, nakolik podmíněné a abstraktní jsou oba přístupy. Skutečně, nejistota nákladů a výsledků projektu je podmíněna i samotným projektem a vnějším prostředím.

Proto rozumný model nejistoty konkrétního projektu musí odrážet i nejistotu „stavu světa“ a vnitřní nejistotu projektu, a přitom připouštět i přirozenou nepřesnost veškeré existující informace.

Model intervalově-pravděpodobnostní nejistoty dává tyto možnosti. Povoluje spojit účinek projektu se stavy světa a zároveň dovoluje, aby nějaká část účinku závisela na vnitřní nejistotě projektu.

---

[3] Hurwiczovo kritérium je založeno na očekávání nejlepších a nejhorších výsledků každé z alternativ. Nejprve je třeba stanovit tzv. optimisticko-pesimistický index **t** pro který platí 0<= **t** <= 1.

Tento index vyjadřuje nejlepší a nejhorší očekávání každé varianty. Hodnota **t** je mírou optimismu rozhodovatele a hodnota **1 – t** je mírou jeho pesimismu.

Dále se vypočítá vážený průměr optimistického a pesimistického očekávání jako kombinace nejlepších a nejhorších výsledků každé z alternativ.

Pro tento účel může být nejistota účinku projektu popsána následujícím způsobem: při *i*-tém stavu světa, kterému je připsáno (například, subjektivní) pravděpodobnost p_i , může mít účinek projektu jeden z možných významů E_{ij}, *(j=1,2,K),* o jejichž pravděpodobnostech není nic známo.

To dovoluje posuzovat koncepci intervalově-pravděpodobnostní nejistoty jako dostatečně všeobecnou a zasluhující širší použití v investičním projektování.

Uvažujeme-li o problému evidence faktorů rizika a nejistoty ve výpočtech účinnosti, nemůžeme říci, že nejistota se zdaleka nevyčerpává klasickým statistickým viděním světa. Teorie pravděpodobnosti a matematická statistika mají co do činění se statistickými celky, jejichž chování můžeme hodnotit a předvídat „středně“, ale ne pro každý individuální prvek tohoto celku.

Ve skutečnosti v ekonomice a ve společnosti velmi často máme co do činění s unikátními a neopakovatelnými procesy.

V těchto případech nemůžeme shromáždit řadu statistických pozorování a obdržet výsledky statistiky nezávislých experimentů. Stejně tak jsou omezeny i možnosti přísného použití pravděpodobnostních metod.

Z výše popsaného vyplývá několik zásadně důležitých závěrů:

- Nejistota podmínek realizace projektu neznamená, že pro její popis mohou byt použity termíny „náhodný“, „pravděpodobnostní“ atd., jelikož stávající informace o těchto podmínkách nemusí být vždy vyjádřena v podobě známého pravděpodobnostního zákona rozdělení nákladů a výsledků. Proto termíny „nedeterminovaný“ a „náhodný“ zdaleka nejsou synonyma – druhý termín popisuje pouze ojedinělý druh nejistoty.
- Nejistotu nemůžeme traktovat jako nedostatek jakékoliv informace o podmínkách realizace projektu, můžeme mluvit pouze o neúplnosti stávající informace. Stejně tak evidence nejistoty předpokládá shromažďování a co nejúplnější využití veškeré stávající informace o možných podmínkách realizace projektu a „stupni jejich možnosti“.
- Neúplnou může být nejen informace o budoucích podmínkách realizace projektu, ale také o již realizovaných úkonech „faktická informace“. Proto je potřeba počítat s faktory nejistoty také při adjustaci průběhu realizace projektu na základě příchozí nové informace.
- Musíme omezovat „startovní“ riziko projektu, založené v jeho myšlence nebo záměru, a „finální riziko“, které se odráží v již vytvořených a pro konečné přijetí připravených rozhodnutí o projektových materiálech. V prvopočátečním stadiu zpracování projektu může projekt skutečně být nebo alespoň se zdát jako velmi riskantní, ale později mohou být projektové materiály doplněny opatřeními, která podstatně snižují riziko.

V souvislosti s tímto je velni důležité upozornit na principiální rozdíl mezi pojmem rizika používaného při ohodnocení účinnosti projektů a pojmem rizika, používaného ve finanční analýze (hlavně ve finanční analýze stávajících podniků a cenných papírů).

Poznámka. Je vhodné podotknout, že už je možné další rozšíření intervalově-pravděpodobnostních veličin na neurčitě-pravděpodobnostní veličiny, tj. lze získat pravděpodobnostní rozložení s parametry, zastoupenými už nejen běžnými intervaly, ale v podobě neurčitých intervalů (čísel).

Neurčitě-pravděpodobnostní přístup k formalizaci nejistoty dovoluje oslabit domněnku o statistické jednorodosti pozorovaných jevů při vytváření pravděpodobnostních hypotéz. Ve většině ekonomických a finančních úkolů totiž statistická jednorodost pozorovaných jevů nemůže být dokázána, a stejně tak není možné použití klasických statistických pravděpodobnostních hypotéz.

V těchto informačních podmínkách není opodstatněno používání přesného ohodnocení parametrů pravděpodobnostního rozložení (samozřejmě za předpokladu, že výchozí soubor údajů přece jen dává možnost hodnotit použití některého zákona vyjádřeného v pravděpodobnostní nebo jiné podobě).

Přesné zhodnocení parametrů pozorovaného zákona není známo, je neostré. Přípustné hodnoty leží v určitém intervalu a charakterizují se určitou mírou možnosti, tj. parametry si můžeme představit v podobě neurčitých nebo obyčejných intervalů. Zadání pravděpodobnostního rozložení s neurčitým (nebo intervalovými) parametry dovoluje vzít v úvahu **dva druhy nejistoty**:

1. Vnější nejistotu, spojenou v nedeterminovaností v projevech vnějšího světa (používají se klasická pravděpodobnostní rozložení);
2. Vnitřní nejistotu, spojenou s přirozenou nepřesností veškeré existující výchozí informace, včetně znalecké informace, která odráží přibližnou jistotu znalců v interpretaci údajů, získaných pravděpodobnostními rozloženími (používají se neurčité nebo obyčejné intervaly).

Pravděpodobnostní rozložení s parametry v podobě neurčitých čísel je kombinací dvou známých popisů: klasického pravděpodobnostního rozložení a rozložení možností na nositelích parametrů pravděpodobnostního rozložení.

Pokud rozložení možnosti není zadáno, pak všechny hodnoty parametrů jsou stejně možné, a přechází se k pravděpodobnostnímu rozložení s intervalovými parametry. Pokud intervaly hodnot parametrů se přemění na bod, pak získáme klasické (určité) rozložení pravděpodobnosti.

Srovnání neurčitého přístupu s pravděpodobnostním přístupem s neurčitými parametry pravděpodobnostních rozložení spočívá ve srovnání levé a pravé části funkce příslušnosti a stejně tak vrchní a spodní hranice skupiny pravděpodobnostních rozložení. Potom toto srovnání ústí ke srovnání neurčitého a intervalově-pravděpodobnostního přístupů. Tudíž koncepce intervalově-pravděpodobnostního přístupu k formalizaci nejistoty umožňuje v reálných praktických úkolech zvýšit oprávněnost použití teorii pravděpodobnosti cestou rozšíření pravděpodobnostních veličin na intervalově-pravděpodobnostní veličiny, tj. zadává se ne jedno, ale hodně blízkých pravděpodobnostních rozdělení odsouhlasených se stávající informaci.

2.3 Analýza tradičních metod posuzování ekonomické efektivnosti investičních projektů (IP) v podmínkách rizika a nejistoty

Při realizaci investičního projektu se pohybují určité peněžní prostředky ve formě příjmů a výdajů. Tento pohyb peněžních prostředků při realizaci IP představuje nepřetržitý proces a označuje se

názvem „peněžní toky“ (angl. cash flow). Peněžní toky představují souhrn rozložených příjmů a výdajů v čase vytvořených v procesu realizace IP.

Z ekonomického hlediska si lze představit IP ve formě modelu peněžních toků, z nichž nejvýznamnější jsou investiční a provozní příjmy a výdaje v i-tém období. Je pravidlem, že se peněžní toky uvažuji v čase rovnoměrně rozložené v každé i-té periodě až do konce projektu.

Zhodnocení efektivnosti IP představuje jednu z nejdůležitějších etap v řešení celé řady strategických úkolů charakteristických pro stadium realizace investičních projektů. Zdůvodnění přijatého investičního řešení přímo souvisí s tím, nakolik objektivně a všestranně bylo provedeno jeho zhodnocení. Základním prvkem ocenění IP je systém ukazatelů porovnávajících efekt z realizace IP s náklady na jeho realizaci. Základní otázkou je porovnání peněžních toků, na které mají vliv především následující faktory: hodnota peněz v čase a nestabilita ekonomické situace.

Při ocenění efektivností dlouhodobých projektů, se používají různé ukazatele, Kislingerová [23]:

- NPV – čistá současná hodnota,
- PI – index výnosnosti,
- období návratnosti s přihlédnutím k diskontování,
- vnitřní výnosové procento,
- modifikovaná vnitřní norma výnosnosti.

Tyto ukazatele ocenění ekonomické efektivnosti IP jsou základem při rozhodování o přijetí investičního záměru. V této práci nebudu podrobně popisovat podstatu těchto ukazatelů, protože jde o problematiku podrobně popsanou v odborné literatuře, ráda bych upozornila na některé nedostatky uvedených ukazatelů.

Společným nedostatkem ukazatelů efektivností IP je nejistota vstupních údajů, která vzniká použitím zprůměrňovaných hodnot vstupních údajů IP, což může vést ke zkreslení hodnoty efektivnosti a rizika IP. Nejistota bývá chápána jako neurčitost, náhodnost podmínek či výsledků určitých procesů a jevů. Rizikem se pak nejčastěji rozumí takový druh nejistoty, kdy je pomocí obvyklých statistických metod či subjektivní pravděpodobnosti možno kvantifikovat pravděpodobnosti vzniku výsledků odchylných od očekávaného výsledku. Situace, která je charakterizovaná znalostí příčin (alespoň podstatných příčin), ale neznalostí síly jejích vlivů (tj. pravděpodobnosti) na známé důsledky rozhodnutí, je považována za rozhodování za nejistoty. Tyto podstatné příčiny potom v rozhodovacích modelech vystupují jako faktory nejistoty.[4] Je zřejmé, že podmínka determinovanosti vstupních parametrů je značným zjednodušením reality, protože kterýkoliv IP je charakterizován množstvím faktorů nejistoty: nejistota vstupních parametrů, nejistota vnějšího prostředí, nejistota podmínek stanovených pro efektivnost IP a nejistota svázaná s charakterem

[4] F. Knight definuje nejistotu jako volbu, pro kterou je známá pouze řada možných výsledků a nikoliv jejich pravděpodobnosti [Knight F., 1921].

varianty a modelem realizace projektu. Zejména faktory nejistoty stanovují riziko projektu, tj. nebezpečí ztráty zdrojů, neúplné (částečné) získání požadovaných příjmů, výskyt neočekávaných výdajů. Je zapotřebí prognózovat v čase budoucí stav velkého množství neurčitých parametrů tržního prostředí, a proto je prakticky nemožné vytvořit naprosto přesnou analýzu.

Neodstranitelná nejistota vyvolává stejné riziko při přijetí investičního řešení.

Proto je nutné při prognózování počítat s faktory nejistoty a riziky ovlivňujícími uvedené ukazatele efektivnosti. Nevyhnutelně narazíme na problém formálního výskytu parametrů nejistoty vztahujících se jak k IP, tak k nim souvisejícím výpočtům.

Tato přítomnost různých typů nejistot nás přivádí k nutnosti adaptace výše uvedených ukazatelů ocenění efektivností IP pomocí použití matematických metod, které umožňují formalizovat a zároveň zpracovávat různé typy nejistoty. Jestli si máme představit IP ve formě modelu peněžních toků, z kterého budeme vycházet jako ze základního, způsob formalizace nejistoty se bude lišit dle způsobu popisu vstupních údajů IP, tj. sestávající se z následujících veličin CFI (Cash flow input) - peněžních příjmů a CFO (Cash flow output) - peněžních výdajů.

Mezi různými způsoby modelování v podmínkách nejistoty je možno vyčlenit dva základní přístupy:

- pravděpodobnostní;
- neurčitých množin.

Jak ukazují zkušenosti, efektivnost použití přístupů na základě pravděpodobnosti a neurčitých množin závisí na úrovni a charakteru nejistoty související s konkrétním zadáním. Při zvýšení nejistoty se ve většině případů dává před klasickými pravděpodobnostnimý popisy přednost subjektivní pravděpodobnosti, založené na expertním ocenění, anebo neurčitě-intervalovým popisům, vyjádřených formou funkce neurčitých množin, v konkrétním případě – určitému intervalu. Subjektivní pravděpodobnost je pravděpodobnostní formalismus nemající konkrétní výraz četnostního významu a představující např. bodové ocenění, které je založeno na principu maxima entropie Gibbs- Jaynes.[5] Tím vzniká vážný problém při zdůvodnění výběru těchto ocenění.

Je zřejmé, že když se vstupní údaje IP charakterizují na základě statistických údajů nebo jsou podřízeny určitému pravděpodobnostnímu zákonu, tak je použití pravděpodobnostního přístupu plně oprávněné a efektivní. Ale při modelování reálných IP je statistika většinou nedostačující nebo

---

[5] V situaci, kdy není známo rozdělení pravděpodobnosti zkoumané náhodné proměnné, je výhodné použít některé řešení, které vychází z jistého pesimistického předpokladu. Tímto předpokladem může být rozdělení s maximální neurčitostí za zadaných podmínek.

Použitím rozdělení, které maximalizuje za daných podmínek entropii je vhodné ze dvou důvodů:

1) Tím, že maximalizujeme entropii, minimalizujeme apriorní informaci přidanou do modelu.

2) Dle principu maxima entropie se chovají fyzikální, biologické i ekonomické systémy. Stav s maximální entropií je pro systémy energeticky nejvýhodnější, jelikož se jedná o stav s nejnižší energií.

podklady pro statistiku úplně chybí, což znemožňuje používat pravděpodobnostní přístup. Situace se zhoršuje tím, že při modelování skutečného IP je nutno vzít v úvahu různé typy nejistot, které jsou svázány s výskytem různého objemu užitných informací, týkajících se neurčitých parametrů IP. Zde vzniká problém při zpracování a současném použití těchto různorodých informací, čímž vyvstává nutnost přivedení takovéto informace k jednotné formě znázornění. Ve světové praxi investičního managementu se používají různé metody ocenění efektu IP v podmínkách rizika a nejistoty. K nejvíce rozšířeným patří:

- metoda úpravy diskontního faktoru (prémie za riziko);
- metoda spolehlivých intervalů;
- analýza citlivosti ukazatelů efektivnosti;
- metoda scénářů;
- metoda teorie her (kritéria maximinu, maximaxu apod.);
- sestavení stromu řešení;
- simulované modelování metodou Monte Carlo.

Detailní popisy výše uvedených metod jsou zpracovány v různé odborné literatuře, a proto bych se spíše chtěla podrobně věnovat zvláštnostem a nedostatkům jejich praktického využití.

Metoda úpravy diskontního faktoru předpokládá převedení budoucích peněžních toků k současnému momentu s použitím výše sazby, ale nedává žádnou informaci o stupni rizika (možné odchylky konečných ekonomických výsledků). Při tom dosažené výsledky podstatně závisejí na výše přirážky (prémie za riziko). Tímto způsobem jsou v dané metodě zahrnuty různé nejistoty a rizika, která se odrážejí v prémii za riziko, která se započítává do diskontní sazby.

Metoda spolehlivých intervalů, na rozdíl od předešlé metody, předpokládá úpravu ne výše sazby ale peněžních toků IP v závislosti na spolehlivosti ocenění jejích očekávané hodnoty. Proto se vypočítávají speciální redukované koeficienty (α_1) pro každou plánovanou periodu (i). Uvedená metoda má několik variant v závislosti na způsobu zjišťování koeficientu redukce. Jeden ze způsobů spočívá ve vyčíslení vztahu spolehlivosti hodnoty čistých příjmů peněžních prostředků za bezrizikové investice v periodě (i) k plánovaným očekávaným čistým příjmům z realizace IP v té samé periodě (i), Vilenskij [53]. Je zřejmé, že při takovémto způsobu zjištění koeficientů spolehlivosti peněžních toků z realizace IP se tyto interpretují jako příjmy z bezrizikových vkladů, což vede k nemožnosti provedení analýzy efektivnosti IP v podmínkách nejistoty a rizika.

Jiná varianta dané metody spočívá v expertní korektuře peněžních toků s pomocí redukčního koeficientu stanoveného v závislosti na subjektivním ocenění pravděpodobnosti. Nicméně interpretace koeficientů spolehlivosti jako subjektivních pravděpodobností charakteristických pro daný přístup neodpovídá ekonomické podstatě oceňování rizik. Použití koeficientu spolehlivosti v takovém případě způsobuje přijetí nespolehlivých investičních řešení a při formálním přístupu může vést k vážným chybám a v důsledku toho k negativním následkům pro investora.

Metoda analýzy citlivostí ukazatelů efektivnosti IP umožňuje na kvantitativním základě ocenit vliv změny na IP v jeho hlavních proměnných. Hlavní nedostatek této metody spočívá v tom, že v něm může docházet ke změně jednoho parametru IP izolovaně od všech ostatních, tj. všechny ostatní parametry IP zůstanou nezměněny. Takový předpoklad zřídkakdy odpovídá skutečnosti.

Metoda scénářů umožňuje překročit základní nedostatek analýzy citlivosti tak, že s její pomocí je možné vzít v úvahu jednorázový vliv změn faktorů rizika. K základním nedostatkům použití metody patři nutnost vyplnění dostatečného objemu prací pro výběr a analytické zpracování, a to pro každý možný scénář rozvoje. Což nás za prvé přivádí k omezenému počtu kombinací proměnných vzhledem k tomu, že možnosti scénářů podléhající detailnímu rozpracování jsou ohraničené, za druhé k omezenému množství proměnných, a za třetí k přítomnosti velké subjektivity při výběru scénářů rozvoje a stanovení pravděpodobnosti jejích vzniku.

Jestliže existuje velké množství variant scénářů rozvoje, jejichž pravděpodobnosti nemohou být spolehlivě oceněny, tak při přijetí vědecky odůvodněného investičního řešení při výběru nejvíce účelného IP z mnoha možných alternativních IP v podmínkách nejistoty se používají **metody teorie her**, z nichž některé jsou uvedené níže.

Kritérium maximaxu nebere v úvahu při investičním rozhodování riziko související s nežádoucím vývojem vnějšího prostředí.

Kritérium maximinu minimalizuje riziko investora, ale při jeho použití mohou být bezdůvodně zamítnuty mnohé IP, které jsou efektivní. Tato metoda uměle snižuje efektivnost IP, a proto její použití je vhodné jen v případě nutnosti dosažení zaručeného výsledku.

Kritérium minimaxu se na rozdíl od kritéria maximinu zaměřuje ne tolik na minimalizace ztrát, jako na minimalizaci ušlého zisku. Toto kritérium připouští rozumné riziko na oplátku získání dodatečného zisku. Používat toto kritérium pro výběr strategie chování v situaci nejistoty je možné jenom tehdy, když je jisté, že náhodná ztráta nezpůsobí celkový zánik podniku.

Kritérium pesimismu-optimismu (Hurwiczovo pravidlo) vytváří rovnováhu mezi kritérii maximinu a maximaxu prostřednictvím konvexní lineární kombinace, Hurwicz [20]. Pomocí této metody z celkového množství očekávaných scénářů investičního procesu se vybírají dva, ve kterých IP dosahuje minimální a maximální efektivnosti. Výběr optimálního IP pomoci ukazatele NPV je prováděn podle vzorce:

$$IP_{opt} = \{IP_j \,/\, max_j[(1-\lambda) min_i NPV_{ji} + \lambda\, max_i NPV_{ji}]\} \qquad (2.1)$$

Kde $\lambda \in [0,1]$ - koeficient pesimismu-optimismu, který má hodnotu v závislosti na postoji rozhodujícího k riziku – jeho sklon k optimismu či pesimismu.

Při nedostatku náklonnosti je $\lambda = 0{,}5$. Při $\lambda = 0$ – kritérium Hurwicza se shoduje s maximin, při $\lambda =$ 1 s maximax kritériem.

Společným nedostatkem výše uvedených metod teorie her je předpoklad omezeného počtu scénářů vývoje (konečná množina stavu okolního prostředí).

Metoda rozhodovacích stromů je podobná metodě scénářů a je založena na sestavení polyvariantní prognózy dynamiky okolního prostředí. Na rozdíl od metody scénářů se předpokládá možnost přijetí rozhodování samotné organizace, která může měnit průběh implementace IP s použitím speciálního grafického formátu ukazujícího výsledky (rozhodovací strom). Tato metoda může být použita v situacích, kdy pozdější řešení do značné míry závisí na řešeních přijatých dříve a následně stanoví scénáře budoucího vývoje. Hlavními nedostatky této metody při praktickém používání jsou za prvé technická náročnost řešení této metody za přítomnosti velké složitosti zkoumaného stromu, což komplikuje nejen výpočet optimálního řešení, ale i identifikaci údajů. Za druhé, použití příliš vysokého subjektivního hodnocení při stanovení pravděpodobnosti.

Simulace metodou Monte Carlo je nejtěžší ale nejúčinnější metodou pro hodnocení a řízení rizik při investičním rozhodování, Fotr [13]. Vzhledem k tomu, že v procesu implementace této metody se uskutečňuje velké množství variant, tak ji můžeme vztáhnout k dalšímu rozvoji metody scénářů. Metoda Monte Carlo dává nejpřísnější a nejvíce odůvodněné odhady pravděpodobnosti ve srovnání s výše popsanými metodami. Nicméně z teoretického hlediska navzdory přednostem této metody daná metoda při praktické aplikaci naráží na řadu závažných překážek z níže uvedených důvodů:

- vysoká citlivost výsledků získaných metodou Monte Carlo k zákonům pravděpodobnostního rozdělení a typu závislostí vstupních proměnných IP;
- i když současné programové prostředky umožňují vzít v úvahu zákony rozdělení pravděpodobnosti, provést korelaci mezi vstupními proměnnými a zhodnotit jejich spolehlivost výzkumu, v praxi to obvykle není možné, protože ve většině případů analytici stanoví změny základních proměnných makro a mikro prostředí, vybírají zákony rozdělení pravděpodobnosti a statistické vztahy mezi proměnnými subjektivně. Proto získání vysoce kvalitních statistických informací není možné, a to zejména pro unikátní IP v reálné ekonomice.

V důsledku výše uvedených důvodů je přesnost výsledných odhadů do značné míry závislá na kvalitě základních předpokladů a vzájemných souvislostech vstupních proměnných, což může vést k významným chybám ve výsledcích.

Výše uvedená analýza tradičních metod hodnocení efektivnosti IP v podmínkách rizika a nejistoty svědčí sice o jejich teoretické významnosti, ale z praktického hlediska je jejích použitelnost pro velké množství příliš zjednodušujících předpokladů modelů méně vhodná.

2.4 Aplikace teorie neurčitých množin (TNM) při hodnocení ekonomické efektivnosti a rizik IP v podmínkách nejistoty

Praxe provádění prognózních výpočtů reálných IP nás ujišťuje o nezbytnosti všestranného zohlednění různých typů nejistot při hodnocení, plánování a řízení investičních projektů. Skutečností je, že vliv faktorů nejistoty na IP vede ke vzniku nečekaných situací, které mohou vést k neočekávané ztrátě či škodě, dokonce i v takových projektech, které byly původně považovány za ekonomický přijatelné. Přihlédnutí k nejistotě informací a jejich účinností je přímo závislé na volbě matematického aparátu definovaného matematickou teorií.

Etapa výběru a odůvodnění matematického aparátu, který poskytuje přijatelnou formalizaci nejistoty a odpovídá řešení problémů vzniklých při řízení reálných investic, je nesmírně důležitá.

Neoprávněný a v důsledku toho nesprávný výběr matematického aparátu vede především k nezpůsobilosti vytvářených matematických modelů a k získávání nesprávných výsledků při jejich použití. Tím vzniká nedůvěra k dosaženým výsledkům a často k jejich ignorování. Výše uvedená analýza metod kvantitativního ocenění efektivnosti IP v podmínkách nejistoty ukazuje, že stávající metody eliminují nejistotu v modelu IP, což je neoprávněné, neboť nejistota je neoddělitelnou charakteristikou vlastností jakékoliv prognózy. Tyto metody nemohou formálně popsat a posoudit všechny možné typy nejistot. Většina metod pouze formuluje nejistotu jenom jako rozdělení pravděpodobnosti postavené na základě subjektivních expertních odhadů, což je ve většině případů zřejmě idealizované. Proto je v těchto metodách nejistota, bez ohledu na její povahu, spojena s nahodilostí a tím neumožňuje zohlednit všechny možné typy nejistot, které ovlivňují IP.

Jak již bylo uvedeno, přesnost odhadu pravděpodobnosti (objektivní a subjektivní) závisí na mnoha faktorech, počínaje kvalitou statistické informace a konče kvalitou expertních odhadů. Proto kvalita výsledného vyhodnocení efektivity a rizika IP závisí také silně na těchto faktorech, což může způsobit zvýšení nedůvěry v prognózy a v rozhodnutí získaná na jejich základě, Ostrouško [40].

V souvislosti s tímto převládá mezi top-manažery, bankéři a finančníky názor, že převážná většina prognostických výpočtů je příliš idealizovaných a jsou tudíž vzdálené od praxe. Mnozí z nich dávají přednost práci na základě zkušeností a intuice.

Podle mého názoru je to podmíněno následujícími hlavními důvody:

- Specifikou předmětného oboru výzkumu, protože se nachází na styku moderní aplikované matematiky, ekonomie a psychologie.
- Relativní novostí a nedostatečnou rozpracovanosti matematických metod analýzy IP v podmínkách nejistoty.
- Nízkou informovaností top-manažerů firem a odborníků v oblasti financí o nových přístupech formalizace a současného zpracování různých informací (determinované,

intervalové, lingvistické, statistické) o možnostech vybudování specializovaných metodik na základě těchto přístupů.

Zakladatel teorie fuzzy množin Zadeh zformuloval nedostatek „klasických“ formálních metod takto: „..čím blíž přistupujeme k řešení problému reálného světa, tím více je zřejmé, že s rostoucí složitostí systému naše schopnost dělat přesné a přesvědčivé závěry o jejím chování se snižuje na určitou mez, za níž přesnost i jistota se stávají téměř vzájemně se vylučujícími.“, Zadeh [56]. Proto někteří zahraniční výzkumníci zpracovávají metody ocenění efektivnosti a rizik IP, pomocí nástroje **teorie neurčitých množin** (TNM).

V této metodě se místo rozdělení pravděpodobnosti používají stupeň příslušnosti v rozsahu popsané funkce od 0 do1 (spojitá), která této hodnotě přiřazuje funkci příslušnosti.

Metody založené na teorii neurčitých množin (fuzzy logika), patří k metodám hodnocení a rozhodování v podmínkách nejistoty.

Jejich použití předpokládá formalizaci výchozích parametrů a cílových ukazatelů efektivnosti IP (převážně NPV) jako vektor intervalů hodnot, kde příslušnost do každého intervalů se charakterizuje nějakou mírou jistoty. Při provádění aritmetických a jiných operací s neurčitými intervaly podle pravidel fuzzy matematiky získávají odborníci pro cílový ukazatel výsledný neurčitý interval. Na základě vstupní informace, zkušenosti a intuice, mohou experti přesvědčivě a kvantitativně charakterizovat hranice možných příslušných hodnot parametrů a také oblast jejich nejvíce možných preferenčních hodnot.

K metodám založených na TNM lze jako zvláštní případ zařadit známou **metodu intervalů**. Tato metoda odpovídá situaci, kdy je dostatečně přesně známá jenom hranice hodnot analyzovaného parametru v rozmezí, která se mohou lišit, ale současně chybí jakákoliv kvantitativní a kvalitativní informace o možnostech anebo pravděpodobnosti realizace jeho hodnot uvnitř definovaného intervalu, Vilenskij [53]. V souladu s touto metodou se vstupní proměnný IP uvádí ve tvaru intervalů funkce příslušnosti a dále se používají pravidla fuzzy množinové matematiky pro získání výsledného ukazatele efektivnosti IP v intervalovém tvaru. V metodě intervalů se stupeň rizika určí jako předpokládaná škoda, připadající na jednotku nejistoty tj.:

$$P = \frac{q_N - q_{\min}}{q_{\max} - q_{\min}} \qquad (2.2)$$

kde q_N je požadovaná hodnota parametru, q_{min} je minimální hodnota parametru, q_{max} je maximální hodnota parametru, P – úroveň rizika, anebo, poměr vzdáleností od požadované hodnoty do její minimální/maximální hodnoty k intervalu mezi maximální a minimální hodnotou.

Tento způsob vyjádření rizika plně souhlasí s geometrickým vyjádřením pravděpodobnosti, stejně jako při předpokladu, že všechny události uvnitř intervalu $[q_{min}\,;\, q_{max}]$ jsou stejně pravděpodobné. Je zřejmé, že tento předpoklad neodpovídá skutečnosti.

Při existenci doplňkové informace o parametrech hodnoty uvnitř intervalu, když je například známo, že hodnota (α) je více pravděpodobná než hodnota (β),může být matematická formulace nejistoty adekvátně realizována pomocí metody neurčitých množin.

Při použití matematického aparátu TNM je třeba formalizovat své uvažování o možných veličinách oceňovaného parametru IP v podmínkách zadání dané funkce se stanovením jejího definičního oboru a podmínek pro nabývání funkčních hodnot.

Je třeba při zadávání definičního oboru funkce ukázat množství těch hodnot, při kterých charakteristická funkce = 0, a následně seřadit množství předpokládaných hodnot podle stupňů možné příslušnosti k dané neurčité množině.

Při formalizaci vstupních parametrů IP se fuzzy množiny definují pomocí funkce příslušnosti $\mu_{\tilde{Y}}$ (y). Takto definované fuzzy množiny se převádějí na fuzzy čísla, se kterými lze pracovat způsobem obvyklým pro čísla. Pomocí Zadehova principu rozšíření (popsaného v subkapitole 4.3.4.4) je lze definovat ve tvaru:

$$\mu_{\tilde{Y}}(y^*) = \sup_{\substack{f(x_1^*,\ x_2^*,\ \dots,\ x_n^*)=y^* \\ x_i^* \in supp\ (\tilde{X}_i),\ i=1\dots n}} \left\{\min\left(\mu_{\tilde{X}_1}(x_1^*),\ \mu_{\tilde{X}_2}(x_2^*), \dots,\ \mu_{\tilde{X}_n}(x_n^*)\right)\right\} \qquad (2.3)$$

kde $\mu_{\tilde{X}_i}(x_i^*)$ – je možnost toho, že neurčitá hodnota $\widetilde{X}_i$ může přijmout hodnotu x_i^*, $f(x_1^*,\ x_2^*, \dots, x_n^*)=y^*$ je funkční závislost výchozího parametru (NPV, IRR apod.) na vstupních parametrech.

Níže jsou uvedeny přednosti neurčitě-intervalového přístupu k ocenění efektivnosti a rizika IP ve srovnání s výše uvedenými metodami, Ostrouško [41]:

1. Tento přístup umožňuje formalizovat a použít v jednotné formě všechny dostupné informace (determinovanou, intervalovou, statistickou, lingvistickou), což zvyšuje důvěryhodnost a kvalitu přijímaných řešení.
2. Na rozdíl od intervalové metody TNM podobně jako metoda Monte Carlo formuluje plné spektrum možných scénářů vývoje IP, a ne pouze nejvyšší a nejnižší hranici, která neumožňuje přijmout ocenění pouze na základě dvojitého ocenění efektivnosti IP, ale pouze v celém souhrnu ocenění.
3. TNM umožňuje dostat očekávanou efektivnost IP, a to jak způsobem bodového hodnocení, tak i způsobem intervalových hodnot s rozložením možností charakteristických funkcí příslušnosti odpovídajících neurčitému intervalu, což dovoluje ocenit integrální míru možnosti získání záporných výsledků IP, tj. stupeň rizika IP.

4. TNM nepotřebuje absolutně přesné zadání funkce příslušnosti na rozdíl od pravděpodobnostních metod. Výsledek dosažený na základě TNM je charakterizován nízkou citlivostí ke změnám typu funkce příslušnosti vstupních neurčitých čísel. Což se v reálných podmínkách nízké kvality vstupních informací ukazuje jako vhodnější metoda.
5. Ocenění rizik IP na základě TNM se ukazuje jako efektivní v situacích, kdy jsou vstupní informace založené na malých statistických výběrech, tj. v případech, kdy nemohou být dosažena pravděpodobnostní ocenění, což je významné při předběžném ocenění dlouhodobých investic, a velmi často, pří hlubší analýze za nedostatku informační báze.
6. Implementace TNM na základě intervalové aritmetiky představuje široké možnosti pro použití dané metody v investiční analýze, což je podmíněno faktickým nedostatkem konkurenceschopných metod k vytváření spolehlivého a přesného nástroje při řízení numerických úkolů.
7. Charakterizuje se snadným popisem expertních znalostí.

Z výše uvedeného vyplývá, že TNM je jednou z nejefektivnějších matematických teorií směrující k formalizaci a zpracování neurčité informace a integrující známé přístupy a metody.
Metody matematické analýzy se používají při přesných vstupních údajích. Matematická statistika a teorie pravděpodobnosti používají data získaná při experimentech. TNM dovoluje zpracovávat různorodé informace charakteristické pro analýzu reálních úkolů investic. Unikátnost dané metody při hodnocení ekonomické efektivnosti IP (NPV, IRR apod.) za podmínek rizika a nejistoty je, ve srovnání se staršími přístupy, založena na následujících bodech:

- Povoluje použití typů neurčitých intervalů (čísel) čistých peněžních toků (včetně záporných hodnot) jako vstupní proměnné IP, protože se velmi často stává, že u IP se předpokládají kapitálové výdaje v několika obdobích, a také to, že objem příjmů v prvních letech provozu bude nedostačující pro krytí stálých a variabilních nákladů.
- Umožňuje vyhnout se problému přehodnocení množství faktorů nejistoty při výpočtu ukazatelů ekonomické efektivností (NPV, IRR apod.) a rizika IP při nejistotě vstupních parametrů, což vede k vyloučení nevhodných scénářů vývoje. V důsledku toho můžeme dosáhnout snížení úrovně nejistoty ukazatelů efektivnosti IP, a jako důsledek – vyšší odůvodněnost a adekvátnost přijímaných investičních řešení.
- Dává možnost vzít v úvahu poměr závislosti (vzájemného působení) mezi vstupními neurčitými proměnnými IP, například, vztah „cena-množství“, „výnosy-náklady“, „diskontní sazba-peněžní toky“ apod., což také vede k vyloučení nevhodných scénářů vývoje a následně ke snížení úrovně nejistoty ukazatelů efektivnosti IP.

3 Podstata PPP projektů a problémy související se stanovením diskontní sazby

3.1 Charakteristika PPP projektů

3.1.1 Příležitosti a cíle PPP modelu

Partnerství veřejného a soukromého sektoru (PPP – Public Private Partnership) označuje soubor metod spolupráce veřejného a soukromého sektoru při přípravě, výstavbě a provozování určitých typů objektů ve veřejném zájmu a při poskytování některých veřejných služeb. Jedná se o model, který je v různém rozsahu a v různých formách uplatňován v řadě zemí.

Princip modelu lze zjednodušeně charakterizovat takto: konkrétní veřejnou investici nebo službu nebuduje, neprovozuje a neposkytuje přímo veřejný sektor, ale privátní sektor. Stát je partnerem a zákazníkem soukromého sektoru, od něhož nakupuje služby. Soukromý sektor na své náklady vybuduje veřejnou investici (službu) a stát jako klient platí pravidelné poplatky za tuto investici až po její realizaci.

Úkolem veřejného sektoru tedy je definovat priority veřejných investic (služeb), podílet se na vytvoření projektových týmů, definovat pravidla projektů, monitorovat průběh každého projektu a zajistit finanční prostředky na úhradu za veřejné statky či služby, eventuelně vytvořit právní podmínky pro garanci těchto úhrad soukromému investorovi V řadě případů po určité době (obvykle po 20 až 30 letech) veřejná správa za předem daných podmínek přebírá majetek do vlastnictví a provozování. Úkolem soukromého investora je zajištění finančních zdrojů pro vybudování investice, event. poskytování služeb, spolupráce na tvorbě projektu, vlastní realizace investice, provozování veřejné investice nebo poskytování služeb, Koncepce reformy veřejných rozpočtů [4]. Institucionální pohled na definice, obecné vlastnosti a hlavní cíle PPP projektů realizovaných formou spolupráce jsou nezpochybnitelnými důvody využití tohoto schématu v mnoha oblastech veřejného zájmu.

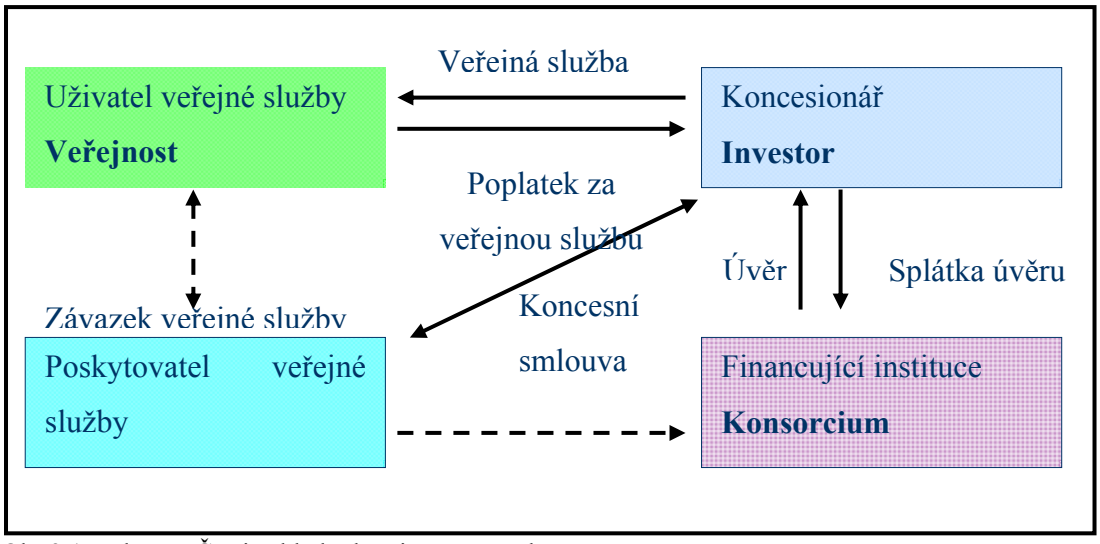
3.1.2 Principy uplatňované konceptem PPP [4][6]

- **Hodnota za peníze (Value for Money)** – hlavním požadavkem vzhledem k dlouhodobosti a komplexnosti PPP není cena, ale je celková výsledná hodnota, která musí být komplexně posuzována a její minimální úroveň stanovena před otevřením soutěže na zadání takovéto zakázky
- **Přenesení rizik (Risk Transfer)** – strana, která je nejlépe schopna řídit riziko, je tou stranou, která by ho měla nést: zde se jedná o optimalizaci nesených rizik

[6] Tyto principy byly stanovene v Koncepci reformy veřejných rozpočtů schválených vládou ČR usnesením č. 624/2003 v Příloze č.8.

- **Specifikace standardů veřejné služby** – veřejný sektor musí definovat standard pro veřejnou službu v roli klienta
- **Zajištění inovace a konkurence** – snahou PPP kontraktů není zafixovat monopol jednoho kontraktora, ale naopak řídit konkurenci tak, aby vedla k maximálním inovacím v dané sféře veřejných služeb.

Spolupráce veřejného sektoru se sektorem soukromým vychází z **odlišné technické, obchodně – podnikatelské a manažerské kompetence obou partnerů**. Přináší rozsáhlé kapitálové zdroje neveřejného sektoru i novou manažerskou a podnikatelskou filosofii, nové technologie a mechanismy, nové lidi a profese. Výsledkem jsou nečekané synergie a efekty, které standardním profesním úsilím letitých mechanismů veřejného sektoru dosáhnout nelze. Velkým přínosem je již možnost soukromé iniciativy, která sama o sobě může ovlivnit chování veřejného sektoru, zkvalitnit jeho práci, procesy a hlavně výstupy.



Obr.3.1 – vlastní: Čtyři základní hráči PPP transakce

Rozložení úlohy rozvoje veřejných služeb mezi ostatní hráče trhu přináší vyšší objem finančních prostředků, ale také odlišné efekty v oblasti výkonnosti a efektivity veřejných služeb. Na druhé straně může zásadním způsobem změnit zaběhnuté postupy a zejména rozsah a charakter kompetencí veřejného sektoru. Spolupráce různorodých subjektů přináší pochopitelně **větší rizika**.

Nejedná se tedy jen o vyšší užitek za nižší cenu, ale také o zásadní systémovou změnu a dlouhodobě rizikovější prostředí – to vše zasazeno do prostředí výrazně vyšších finančních a kapitálových zdrojů. To hlavní, co objektivně přináší partnerství veřejného a soukromého sektoru je **zavedení tržních mechanismů do sféry veřejných služeb**. Subjektivní přiznání positivního účinku takového efektu je však pro veřejný sektor bolestné. Není možné se divit, že sám od sebe takové přiznání neučiní. Motivace založené na marketizaci veřejných služeb nejsou z tohoto důvodu pro veřejný sektor nikterak zajímavé a proto málokdy slouží v případě PPP projektů jako jejich motivační východisko.

Obecné příležitosti PPP modelu lze shrnout takto:

- dodatečné zdroje pro financování veřejných služeb;
- akceleraci rozvojových programů, týkajících se regionů a jejich infrastruktury;
- přenos části investičních nákladů do kapitol provozních nákladů, což může být z hlediska reálného toku veřejných prostředků výhodnější;
- zrychlení výstavby souvisejících staveb a jejich uvedení do provozu;
- redukce celoživotních nákladů investic;
- výhodnější rozložení rizika;
- zvyšující se kvalita poskytovaných služeb.

Partnerství veřejného a soukromého sektoru má své přímé a nepřímé efekty. K nepřímým efektům patří přebírání zkušeností soukromého sektoru veřejnou správou. Konkrétně takovými nepřímými efekty mohou být, Andersen [1][7]:

- **Hodnota za peníze**

  V přípravě PPP projektů je klíčovým až magickým pojem „hodnota za peníze“. V přípravě projektu tradičním způsobem tento pojem významnou roli nehraje. Nejde však jen o pojem, jde zejména o chápání cílů projektu a efektivních cest jejich naplnění. Veřejný sektor o hodnotě projektu za peníze prostě neuvažuje, realizuje projekt, který považuje za správný, určuje jeho náklady a zajišťuje potřebné finanční zdroje podle zpracované kalkulace nákladů. V případě PPP projektu je veřejný sektor k úvaze o hodnotě projektu za peníze a její následné optimalizaci metodikou přípravy donucen.

- **Specifikace výstupů projektu**

  V případě standardního modelu realizace investičního projektu nebývá zvykem definovat a specifikovat výkonové a kvalitativní cíle, výstupy, parametry projektu. Příprava PPP projektu toto vyžaduje, protože na základě cílových výkonových a kvalitativních parametrů je definováno zadání pro soukromého investora. Definice cílových parametrů projektu je přitom velmi důležitá pro úspěch každého projektu.

- **Měření výkonů a kvality**

  Specifikované výkonové a kvalitativní parametry jsou základem konstrukce platebního mechanismu, na základě kterého je soukromý investor veřejným sektorem odměňován. Aby byla odměna objektivní, jsou výkonové a kvalitativní parametry průběžně monitorovány, měřeny a nezávisle ověřovány. Tímto způsobem je objektivně dokladována kvantita a kvalita veřejné služby nejen pro obchodní vztah soukromý – veřejný sektor, ale také pro nadřízené orgány a pro veřejnost. Výkon a kvalita veřejné služby na základě toho mohou být řízeny a proto zlepšovány.

- **Riziková analýza projektu**

  Pro potřeby kalkulace nákladů rizik je vypracována detailní riziková analýza a rizika projektu jsou oceňována, což v případě standardního modelu realizace nebývá zvykem. Podrobná znalost rizik

[7] Na základě zprávy Artura Andersena pro Treasury Taskforce aj.

umožní rizikům předcházet, řídit je, či je s výhodou přenášet na jiné. Veřejné projekty tak jsou efektivnější, než kdyby byly realizovány tradičním způsobem.

3.1.3 Prvky PPP projektů

Předmětem vzájemné spolupráce v oblasti stavebních (infrastrukturních) investic jsou zpravidla tyto klíčové prvky:

- design a inženýrská příprava projektu (D - design)
- výstavba technické infrastruktury veřejné služby (B - build)
- vlastnictví infrastruktury (O - own)
- provoz investice / poskytování veřejné služby (O - operate)
- technická správa a údržba (M – maintain)
- transfer infrastruktury (T - transfer)
- financování infrastruktury a služeb (F - finance)

Tyto prvky je nutné **kompetenčně rozdělit mezi soukromého investora a veřejnou instituci.**

1. **Veřejný sektor investorem, vlastníkem a provozovatelem**
    - konvenční model přípravy a realizace projektu
    - DBB (Design Bid Build)
    - Prime Contract
    - DB (Design & Build)
    - střednědobý a dlouhodobý dodavatelský úvěr
2. **Veřejný sektor investorem a vlastníkem, soukromý sektor provozovatelem**
    - dodávka na klíč
    - BOT (Build Operate and Transfer)
    - DBOT (Design Build Operate and Transfer)
    - DBO (Design Build and Operate) resp. DBM (Design Build and Maintain)
    - BTO (Build Transfer and Operate)
    - EPC (Energy Performance Contract) = koncese na údržbu
3. **Veřejný sektor vlastníkem, soukromý sektor investorem a provozovatelem**
    - Pronájem
    - BOOT (Build Own Operate and Transfer)
    - DBOF (Design Build Operate and Finance) resp. DBFO resp. DBFM (Design Build Finance and Maintain)
4. **Soukromý sektor investorem, vlastníkem a provozovatelem**
    - Prodej
    - Privatizace

- prodej a pronájem (lease back = kapitalizace aktiv)
- BOO (Build Own and Operate)
- DBOO (Design Build Own and Operate)
- BBO (Buy Build and Operate)
- LDO *(Lease Develop and Operate)*

Soukromí provozovatelé mohou také poskytovat služby přímo veřejnosti, jako je tomu v případě zpoplatněných silnic nebo železnic. Takové smlouvy se označují jako **koncese** a soukromý provozovatel (koncesionář) odvádí vládě určité poplatky z koncese a/nebo podíl ze zisku. Soukromý provozovatel obvykle vlastní PPP aktivum po dobu, po kterou ho provozuje v rámci smlouvy DBFO a po jejím vypršení ho předá státu obvykle za nižší než skutečnou zůstatkovou hodnotu (často za nulovou nebo nízkou nominální cenu). V takovém případě často hovoříme o typu BOT (postav-provozuj-převeď) nebo typu BOOT (postav-vlastni-provozuj-převeď). Následující schéma podává přehled o jednotlivých typech PPP projektů [6].[8]

Tab.3.1 Přehled jednotlivých typů projektů PPP

Typ PPP	Podoby
Postav-vlastni-provozuj (BOO) **Postav-rozvíjej-provozuj (BDO)** **Navrhni-postav-řiď-financuj (DCMF)**	Soukromý sektor navrhne, postaví, vlastní, vylepšuje, provozuje a řídí aktivum, aniž by měl povinnost převést jej do vlastnictví státu. Jedná se o varianty řešení DBFO.
Kup-postav-provozuj (BBO) **Pronajmi-rozvíjej-provozuj (LDO)** **Celkové rozšíření areálu (WAA)**	Soukromý sektor koupí nebo si pronajme existující aktivum od státu, renovuje ho, modernizuje a/nebo ho rozšíří a potom aktivum provozuje. Ani zde není vázán povinností převést ho do vlastnictví státu.
Postav-provozuj-převeď (BOT) **Postav-vlastni-provozuj-převeď (BOOT)** **Postav-najmi-vlastni-převeď (BROT)** **Postav-pronajmi-provozuj-převeď (BLOT)** **Postav-převeď-provozuj (BTO)**	Soukromý sektor navrhne a postaví aktivum, provozuje ho a po vypršení provozní smlouvy nebo po předem stanovené době ho předá státu. Soukromý sektor se poté může aktivum pronajmout nebo najmout od státu.

Zdroj: Český překlad části oficiálně vydaného dokumentu "Public-Private Partnerships, Government Guarantees, and Fiscal Risk" Mezinárodním měnovým fondem v roce 2006.

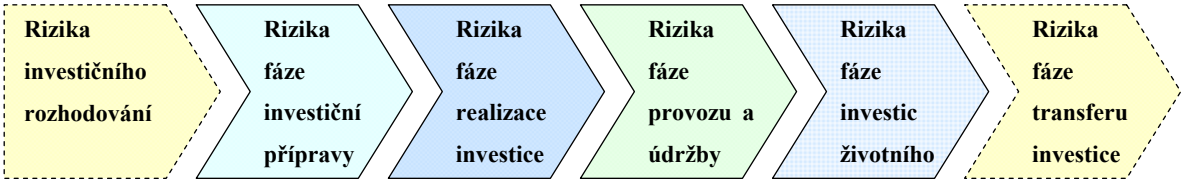
[8] Tento speciálně vydaný dokument MMF vychází ze dvou materiálů – partnerství veřejného a soukromého sektoru a státní záruky a fiskální rizika - projednávaných výkonnou radou MMF v dubnu 2004 a květnu 2005 v rámci širší diskuze o otázkách souvisejících s veřejnými investicemi a fiskální politikou.

Všechny strany kontraktu, které zajišťuji fungování a implementaci PPP projektu, se musí potýkat s celou řadou možných rizik, které vyplývají z jejich role v projektu po celou dobu jeho životnosti. Pro veřejný sektor je cílem zajistit co nejvyšší možnou hodnotu za peníze (VfM) dosažitelnou z veřejných prostředků. Pro financující organizace a faktického realizátora projektu nejdůležitějším bývá dosáhnout určitou úroveň výnosů a to buď plynoucích přímo z provozování projektu anebo v podobě poplatků ze strany veřejného zadavatele. Ty musí pokrýt vlastní provozní a investiční výdaje na jedné straně a také cizí zdroje dluhového financování na druhé straně. Vyhodnocení rizika v projektech typu PPP nezáleží nejenom na přerozdělování rizik mezi dvě výše uvedené strany, ale musí taky brát na zřetel specifiku realizovaného projektu.

Standardně se rizika týkají **jednotlivých fází životního cyklu projektu** (iniciace investičního záměru končící rozhodnutím o investici, technická, finanční a obchodní příprava, realizace investice, její provoz, investice životního cyklu, případný transfer):

- rizika fáze **investičního rozhodování**;
- rizika fáze **investiční** tj. technické, finanční, obchodní a smluvní přípravy projektu;
- rizika fáze **stavební realizace investice**;
- rizika fáze **provozu a údržby** (technická údržba a drobné opravy) **investice**;
- rizika fáze **investic životního cyklu** (investiční opravy rekonstrukce, modernizace);
- rizika **transferu investice** na konci jejího životního cyklu (převod, prodej, nový investiční záměr, demolice).

Výčet eventualních rizik je možný v členění podle jejich kategorie nebo podle fáze, které se týkají.



Obr.3.2 – vlastní: Rizika podle fází životního cyklu projektu

Je důležité si uvědomit, že míra výskytu jednotlivých rizik je v různých fázích projektu rozdílná. Například fáze výstavby (fáze stavební realizace investice) s sebou ponese značně odlišná rizika než ta, která budou ve fázi provozní a některá technická rizika úplně zmizí při dokončení stavebních prací. Rizika můžeme rozlišovat jak v závislosti na projektové fázi, tak i na samotném typu projektu.

Můžeme rozlišovat různá rizika jak v projektové fázi, tak i na samotném typu projektu a to v závislosti na odpovědnosti soukromého sektoru podle typu kontraktu. Příkladem rostoucí odpovědnosti může být porovnání projektu typu OM, kdy soukromý sektor nese rizika spojená se správou a údržbou a projektu označeného jako BOO, kdy většina možných rizik leží na soukromém sektoru. Mají-li být rizika správným způsobem převedena, je třeba nalézt odpovídající nástroje a mechanizmy. Třeba taky brát na zřetel i ten fakt, že hodnota rizik, které na sebe v rámci PPP projektu přebírá soukromý partner, může být rozhodujícím faktorem při stanovení hodnoty VfM, Ostřížek [43].

3.2 Dosažení ukazatele VfM při provádění analýzy efektivnosti PPP projektů

3.2.1 Metody hodnocení efektivnosti PPP projektu z pohledu jeho hlavních účastníků

V této práci jsem brala v úvahu základní metodologický přístup k analýze efektivnosti investičního projektu doporučený ruskými právními předpisy, metodické pokyny [5].[9]

Při hodnocení schémat realizace projektu typu PPP a výběru doporučeného schématu realizace projektu je hlavním kriteriem účinnost projektu pro hlavní účastníky. Metody hodnocení projektů PPP se podstatně mění ve srovnání s tradičními přístupy. Z jedné strany tyto metody nesvádějí k hodnocení soukromého sektoru, k hodnocení odpovídajících zájmů soukromých účastníků zkoncentrovaných na základě analýzy finanční efektivity diskontovaných cash flow (Discounted Cash Flow – DCF). Z druhé strany se tyto metody liší od zohlednění zájmů samotného státu jako zástupce společnosti, charakteristického pro analýzu výdajů a výhod ve veřejném sektoru. Moderní metody hodnocení investičních projektů PPP spolu s analýzou finanční efektivity obsahují jako povinnou složku analýzu ekonomické efektivity (analýza veřejné efektivity nebo analýza nákladů a užitků - (Cost-benefit analysis - CBA)), zohledňující zájmy společnosti obecně. V současných podmínkách při hodnocení PPP projektů je nezbytné hodnotit současně jak finanční, tak ekonomickou efektivitu, a to ve dvou variantách - se státní podporou a bez ní.

Metodická doporučení hodnocení investičních projektů v Rusku pro společensky významné projekty, jako je projekt, který jsem použila v této práci, se zcela shoduje s metodikami doporučenými finančními institucemi Evropské Unie. V České republice jsou metodiky pro hodnocení efektivity veřejných investičních projektů realizovaných formou partnerství docela vyvinuté a používané, proto se v této práci nebudu zabývat jejich detailním posouzením.[10]

Odpovídající metodiky projektové analýzy zpracovávají rozvojové banky a mezinárodní finanční organizace, v první řadě Světová banka [3] a organizace Evropské unie [1].

---

[9] Při posouzení účinnosti projektu pomocí ukazatelů efektivity jsem se řídila postupem, který je definován v metodických pokynech pro hodnocení efektivity investičních projektů schválených Ministerstvem hospodářství Ruské federace, Ministerstvem financí Ruské federace a Státním výborem Ruské federace pro stavebnictví, architekturu a bytovou politiku číslo 477 VK 21.06.1999, které berou v úvahu vlastnosti hodnocení investičních projektů v ruské ekonomice.

[10] Investiční projekty spolufinancované ze strukturálních fondů, Fondu soudružnosti a ISPA představují nástroje pro realizaci regionální politiky EU. Tento průvodce odkazuje na strukturální fondy pro velké projekty, zejména na ERDF (nařízení č. 1260/1999), Fond soudružnosti (nařízení č. 1264/1999) a ISPA (nařízení č. 1267/1999).

Za účelem analýzy projektu jsou obvykle vyčleněny následující skupiny účastníků:

- stát a společnost,
- soukromí investoři a akciový kapitál,
- finanční organizace.

Rozdělení účastníků na tři skupiny je podmíněno odlišnými zájmy každé vyčleněné skupiny vůči projektu.

Při hodnocení efektivity projektu pro stát a obyvatelstvo se hodnotí ukazatelé charakterizující význam projektu pro sociálně-ekonomický rozvoj státu a také schopnost projektu zajistit přísun prostředků do státního rozpočtu. Propočítávají se, zejména, tyto ukazatelé:

- sociálně-ekonomická efektivita;
- rozpočtová efektivita – analýza v rámci rozpočtové efektivity.

Za účelem hodnocení efektivity projektu pro soukromé investory se propočítává řada ukazatelů finanční efektivity, jako například:

- čistá současná hodnota (NPV) peněžních toků pro akcionáře,
- vnitřní míra výnosnosti (IRR) pro akcionáře,
- doba návratnosti projektu.

Při hodnocení efektivity projektu pro **financující (úvěrové) organizace** je nutné zhodnotit finanční stabilitu projektu v případě různých scénářů realizace, zejména zhodnotit schopnost projektové firmy realizovat obsluhování dluhu. Toto je zvlášť aktuální pro projektové financování, kdy se neposkytuje zajištění úvěru a návrat úvěrových prostředků se zajišťuje výhradně peněžními toky projektu.
Rozpočtová efektivita investičního projektu se hodnotí porovnáním rozsahu investic z prostředků státních fondů do investičního projektu a celého souhrnu zvýhodněných daňových příjmů do rozpočtů různé úrovně rozpočtového systému státu, podmíněných realizací projektu.
Sociálně-ekonomická efektivita investičního projektu se hodnotí podle schopnosti mít vliv na vytváření hrubého regionálního produktu a zajištění dynamiky ekonomického růstu. Hodnocení sociálně-ekonomické efektivity investičního projektu se zakládá na stanovení přidané hodnoty generované investičním projektem.
Hodnocení se provádí ve dvou fázích v souladu s metodickými pokyny pro veřejně důležité projekty jako je projekt výstavby a provozu placené dálnice, který byl vzat za příklad v této práci:

- hodnocení veřejné (sociálně-ekonomické) efektivity projektu,
- hodnocení komerční efektivity projektu.

Přednostně se hodnotí veřejná efektivita projektu. Ukazatelé veřejné efektivity počítají se sociálně-ekonomickými následky realizace investičního projektu pro společnost obecně, včetně přímých tak i nepřímých výsledků projektu. Jako např. náklady a přínosy ve vedlejších sektorech ekonomiky, ekologické, sociální a jiné vnější ekonomické účinky. V případě, že výsledky analýzy veřejné efektivity jsou negativní, se projekty nedoporučují k realizaci a nemohou se ucházet o státní podporu. Pokud se veřejná efektivita ukáže jako příznivá, přechází se k analýze komerční efektivity, která zahrnuje:

- finanční efektivitu pro soukromý sektor,
- rozpočtovou efektivitu (efektivitu účasti státu v projektu z hlediska výdajů a příjmů v rozpočtech všech úrovní).

V případě příznivé sociálně-ekonomické efektivity a nedostatečné komerční efektivity veřejně důležitého investičního projektu se projednává možnost použití různých typů státní podpory, která by umožnila zvýšení obchodní efektivity na potřebnou úroveň.
Při provedení analýzy rozpočtové efektivity projektu se obvykle projednávají dvě varianty realizaci projektu:

- **Varianta státní zakázky**

Realizace projektu prostřednictvím státní zakázky znamená, že stát financuje výstavbu do doby uvedení do provozu. Pak zapojuje soukromého operátora za účelem provozování objektu.

- **Varianta koncese**

K povinnostem koncesionáře patří vypracování pracovní dokumentace na základě projektové dokumentace, výstavba a provozování objektu po dobu trvání koncese.
V rámci varianty koncese se projednávají úrovně státní dotace. V rámci provedení finanční analýzy projektu se finanční model používá pro vyřešení zpětného úkolu, tj. propočtu provozních poplatků dovolujících investorům obdržet cílový výnos (IRR) a zajišťujících pokrytí úvěrových plateb (DSCR) při zadané úrovni dotace. Dodržení koeficientů IRR a DSCR je nezbytnou podmínkou pro zajištění zájmu soukromého sektoru zúčastnit se projektu.
Po určení provozních poplatků, odpovídajících stanoveným omezením, se provádí hodnocení scénářů s různou úrovní státní dotace pro každou část na základě **ukazatele rozpočtové efektivity projektu** pro stát. Ukazatel rozpočtové efektivity se vypočte jako čistá současná hodnota (NPV) příjmů a výdajů státu spojených s realizací projektu. Rozpočtová efektivita zahrnuje přímé účinky (příjmy a výdaje bezprostředně spojené s výstavbou a provozováním objektu) a nepřímé účinky (nepřímé daňové platby do rozpočtu podmíněné vlivem na cizí podniky a obyvatelstvo). Výpočet nepřímých účinků předpokládá, že nepřímé daňové platby závisí na sazbě a nezávisí na scénáři a rozsahu státní dotace. Tudíž nepřímé účinky budou stejné pro všechny scénáře (státní zakázku i koncesi s odlišnými úrovněmi dotací). V souvislosti

s tímto se při hodnocení scénářů zohledňuje pouze **přímá rozpočtová efektivita**, jelikož nepřímá rozpočtová efektivita zůstává neměnná, metodické pokyny [5].

Dodržení principu rovnováhy rozpočtové, finanční a sociálně-ekonomické efektivity projektu

V souladu s používanou metodikou [5] charakterizuje **sociálně-ekonomické efektivita** schopnost projektu mít vliv na vytváření HDP což znamená, že čím vyšší je rozsah investic do základního kapitálu a hodnota produkovaného zboží nebo služeb, tím vyšší bude ukazatel sociálně-ekonomické efektivity. Takže sociálně-ekonomická efektivita je spojena s charakteristikami projektu (jeho kapitálovou náročností, hodnotou produkovaného zboží nebo služeb) a slabě koreluje s finanční a rozpočtovou efektivitou projektu.

Finanční efektivita je naopak převážně spojena se schématem realizace projektu. Pokud finanční analýza ukáže, že pro soukromý sektor není projekt investičně zajímavý bez poskytnutí státní podpory v souvislosti se značným rozsahem kapitálových nákladů, pak investiční zajímavost může být dosažena zvýšením podílu státního financování. Takže rozpočtová a finanční efektivita jsou hodnoty, které mají odlišné zaměření. Při zvýšení podílu státního financování se zvyšuje investiční zajímavost projektu pro soukromý sektor a snižuje se jeho rozpočtová efektivita. To znamená, že prioritou je maximalizace celkové rozpočtové efektivity v průběhu celého předpovědního období s ohledem na zajištění minimálního požadovaného výnosu investorů z akciového kapitálu (zájem soukromého sektoru zúčastnit se projektu).

Takže rozpočtová efektivita za celé prognózované období bude vyšší při zvýšení podílu státní dotace na výstavbu, než při přerozdělení státní podpory na následující roky při použití platebního mechanizmu, jelikož hodnota soukromého financování je vyšší než hodnota státního financování. Ale ačkoli rozpočtová efektivita za celé předpovědní období bude vyšší při zvýšení podílu státní dotace, v prvních letech bude rozpočtová efektivita záporná z důvodu podstatného úbytku rozpočtových prostředků na financování výstavby a dosáhne kladné hodnoty až v průběhu doby provozování. Takže charakteristiky projektu (v první řadě jeho kapitálová náročnost a investiční zajímavost) omezují rozsah možných významů rozpočtové efektivity, což znamená, že při potřebě zásadní státní podpory nemusí být dosažena kladná rozpočtová efektivita v každém roce prognózy.

3.2.2 Platební mechanizmus jako nástroj řízení projektu

V této práci při zkoumání metod hodnocení rizik PPP projektu jsem použila jako příklad projekt výstavby a provozu placeného dálničního okruhu kolem města Moskvy.

Základní princip koncese je následující: soukromý investor (nebo skupina investorů) staví dálnici ze svého vlastního kapitálu, který se jim vrací z vybraných poplatků za průjezd dálničním

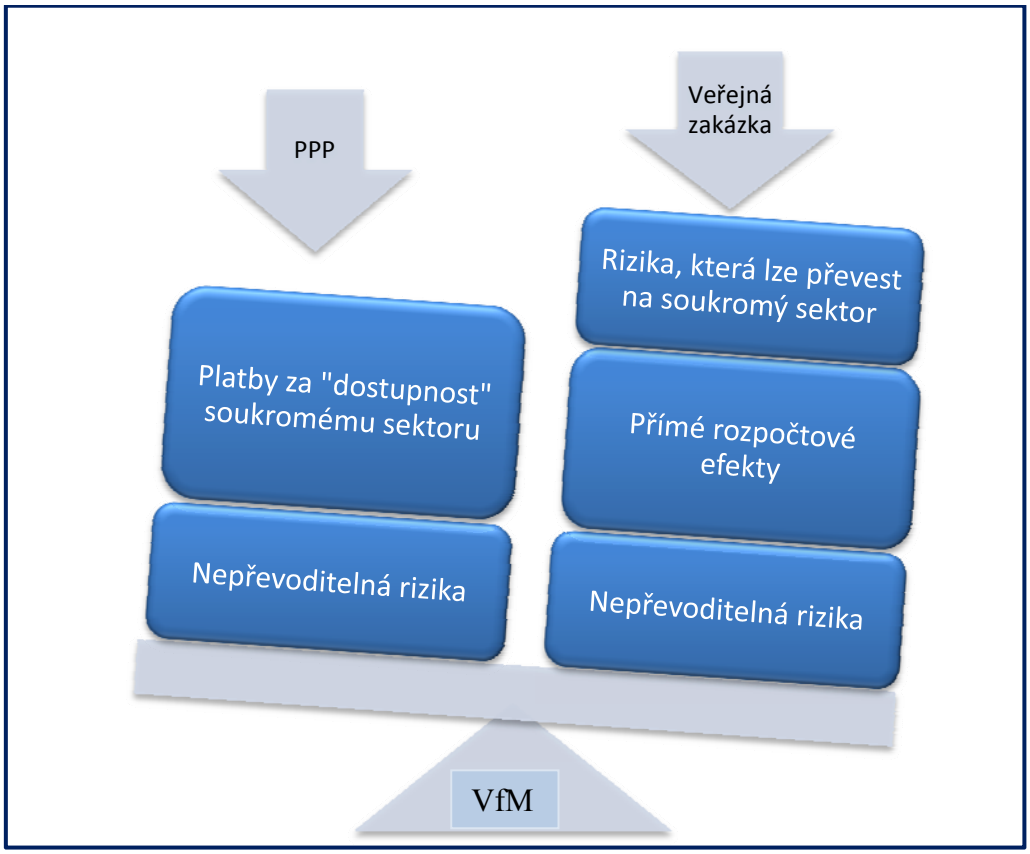
okruhem v době platnosti koncese. Po ukončení doby platnosti koncese přechází správa dálnice pod kontrolu státních orgánů. Aktuální je otázka o získání investorem nedovoleném nadzisku z provozování dálničního objektu, jelikož dálnice jsou obecným blahem. Takové odvětví, jako poskytnutí veřejných služeb, nesmí být pro společnost drahé, jinak vyvolá veřejnou odezvu. Příjem investora v koncesi kontrolují hlavní parametry koncesní dohody: doba platnosti koncese, výše mýtného a míra výnosnosti. Aby se soukromý kapitál zapojil do projektu výstavby dálnice, musí stát pro investory zajistit přijatelnou míru výnosnosti . Ve světové praxi existují dva zásadní mechanismy pro placení koncesionářů: jeden je závislý na intenzitě provozu a druhý není. Platby v závislosti na intenzitě provozu znamenají předání koncesionáři rizika poptávky na průjezd po placené dálnici (tj. v případě poklesu intenzity provozu více než se předpokládalo ponese koncesionář ztráty a v případě převýšení předpovědi obdrží dodatečný zisk), platba koncesionáři mimo závislost na intenzitě provozu předpokládá přijetí rizika poptávky poskytovatelem.

Přenesení rizika poptávky na soukromý sektor má tyto následky:

- zvýší se požadovaná míra výnosnosti akcionářů (požadovaný význam IRR),
- věřitelé projektu budou požadovat zvýšení podílu vlastního kapitálu,
- při provedení hodnocení projektu budou věřitelé vycházet z nejkonzervativnější předpovědi intenzity provozu a odpovídajících příjmů projektu,
- budou potřebné záruky minimálního příjmu, který postačí pro servis dluhu ze strany státu,
- úvěrové koeficienty budou nastaveny na vyšší úroveň.

Veškeré výše uvedené faktory budou mít za následek zmenšení rozsahu zapojovaného soukromého kapitálu a také zvýšení jeho hodnoty. Přičemž v souvislosti s nemožností zhodnotit a kontrolovat riziko poptávky budou zřejmě akcionáři a věřitelé projektu vyžadovat poskytnutí dodatečných záruk ze strany státu. S ohledem na výše uvedené se jako základní mechanismus úhrady nákladů a zajištění výnosnosti kapitálu koncesionáře doporučuje využít platbu za dostupnost (provozní poplatky). Použití mechanismu provozních poplatků dovolí předat riziko poptávky státu a zafixovat rozsah příjmů koncesionáře, což učiní projekt zajímavějším pro investory a dovolí zapojit větší část soukromého kapitálu za nižší hodnotu. Takže riziko poptávky bude patřit ke kategorii zadržených rizik, tj. při jakémkoliv způsobu realizace projektu (formou státní zakázky nebo koncese) ponese riziko poskytovatel (stát). Při použití mechanismu provozních poplatků poskytovatel vyplácí koncesionáři každoroční platbu po dobu provozování. V souladu s existující praxí část provozních poplatků, která se používá pro pokrytí provozních výdajů (včetně provozních výdajů a nákladů na opravu a údržbu za rok), se každoročně indexuje podle ISC (index spotřebitelských cen) za předcházející rok.

Při oceňování způsobů pořízení projektu formou PPP nebo tradiční veřejné zakázky bývá soukromý partner ve značné nevýhodě zejména kvůli vyšším nákladům na kapitál a daňovým aspektům, což může vést k požadavku na vyšší platbu za dostupnost. Přesto bývá při pořízení formou PPP v rámci spektra typově vhodných projektů dosaženo lepší hodnoty za peníze.



Obr.3.3 – vlastní: Dosažení hodnoty za peníze

Zadavatel tedy při pořízení formou PPP ušetří navýšení předpokládaných výdajů projektu o výdaje spojené se skupinou převoditelných rizik (obrázek 3.3). Tato úspora obvykle významně vyváží zvýšenou platbu za dostupnost.

Aby bylo možno v plné míře ocenit a porovnat obě metody realizace projektu, je důležité co nejpřesněji identifikovat a kvantifikovat všechna rizika spojená s projektem a na základě této identifikace stanovit jejich alokace.

Při rozhodnutí, který způsob realizace je pro projekt výhodnější z hlediska maximalizace hodnoty za peníze, je nutno, aby výsledky obou modelů byly vzájemně porovnatelné, tzn., aby byl zohledněn vliv rizik, která se uplatní v každém z modelů jiným způsobem.

3.2.3 Stručný popis konstrukce finančního modelu rozpočtové efektivity

Záměrem této části není vysvětlovat různé techniky finanční a ekonomické analýzy, které jsou dobře známé a integrované do přípravných procesů akceptovaného projektu. Namísto toho tato část představí další východiska, která by měla být zahrnuta do analýzy projektů typických pro vztahy PPP.
Při vyčíslení rozpočtové efektivity se berou v úvahu následující peněžní toky.

Tab.3.2 Rozpočtové peněžní toky

Příjem peněžních prostředku	Výdaje peněžních prostředků
Přímé daňové platby do rozpočtu v důsledku výstavby a provozování dálnice (DPH, daň z příjmu atd.) Nepřímé daňové platby do rozpočtu, podmíněné vlivem na nestranné podniky a obyvatelstvo (DPH, daň z příjmu atd.)	Náklady na projektování, vykoupení pozemků, přípravu území pro výstavbu, dotace poskytnuté ve stádiu výstavby
Příjmy z provozování placené dálnice = poplatky za průjezd	Vyplacení provozních poplatků ve stádiu provozu = platba za dostupnost

Zdroj: tabulka vlastní

Hlavním ukazatelem **rozpočtové efektivity** (RE) je čistá současná hodnota (NPV) peněžních toků v rozpočtu. Ukazatel čisté současné hodnoty peněžních toků dovoluje ohodnotit rozpočtovou efektivitu v absolutním vyjádření, vypočítává se takto:

$$NPV_{RE} = \sum_{i=1}^{N} \frac{RE_i}{(1+r)^i}, \quad (3.1)$$

kde RE_i = přímé daňové příjmy $_i$ + nepřímé daňové příjmy $_i$ + tržba (vybrané poplatky) $_i$ – dotace na výstavbu $_i$ – provozní poplatky $_i$ za období i;

r – rozpočtová norma diskontu, která se rovná bezrizikové sazbě, odrážející hodnotu zapojeného kapitálu pro stát.

Celkový generální ukazatel rozpočtové efektivity se skládá ze tří hlavních části:

NPV rozpočtové efektivity = NPV přímých rozpočtových efektů + NPV převoditelných rizik + NPV zadržených rizik. (3.2)

Zde bych ráda provedla srovnání mezi metodami [5] a [7] popisujícími srovnání finančních modelů pro veřejného a soukromého partnera v rámci projektu realizovaného formou PPP. Dle ruské metody

se provádí srovnání ukazatelů **NPV rozpočtové efektivity** bez a se zapojením soukromého partnera. Dle české metody zkoumáme ukazatel **VfM** spočívající v porovnání variant bez a se zapojením soukromého partnera. Protože tyto ukazatele jsou totožné, a jako příklad v této práci používám projekt implementovaný v Rusku, budu dále používat při sledování a výsledném hodnocení **ukazatel rozpočtové efektivity** ($\mathbf{NPV_{RE}}$) a to pro variantu státní zakázky a koncese. Níže popisuji funkce a dílčí komponenty, ze kterých se skládají hlavní části ukazatele rozpočtové efektivity.

Přímé rozpočtové efekty

Propočet přímé rozpočtové efektivity záleží na scénáři realizace projektu: v podobě veřejné zakázky nebo v podobě koncese.

- ***Přímé rozpočtové efekty v rámci koncese.***

V rámci **koncese příjem** peněžních prostředků do státního rozpočtu zahrnuje:

1. Přímé daňové platby:

- daň z přidané hodnoty z vybraných poplatků za průjezd,
- daň z přidané hodnoty z provozních poplatků,
- daň z přidané hodnoty z výdajů na vykoupení pozemků a přípravu území k výstavbě,
- daň z příjmu koncesionáře,
- daň z příjmů zhotovitelů realizujících výstavbu a provozování dálnice.

Daň z přidané hodnoty u kapitálových výdajů se nepočítá, jelikož byl vznesen návrh, že se tato daň vrací koncesionáři.

2. Tržba z vybraných poplatků za průjezd.

V rámci **koncese výdaje** peněžních prostředků ze státního rozpočtu zahrnují:

1. Výdaje na projektování
2. Výdaje na vykoupení pozemků
3. Výdaje na přípravu území pro výstavbu
4. Dotace koncesionáři
5. Provozní poplatky (včetně DPH)

- ***Přímé rozpočtové efekty v rámci veřejné zakázky***

V rámci **veřejné zakázky příjem** peněžních prostředků do státního rozpočtu zahrnuje:

1. Přímé daňové platby:

- daň z přidané hodnoty z vybraných poplatků za průjezd,
- daň z přidané hodnoty z investičních výdajů,
- daň z přidané hodnoty z výdajů na vykoupení pozemků a přípravu území k výstavbě,
- daň z příjmu zhotovitelů, realizujících výstavbu a provozování silnice.

2. Tržba z vybraných poplatků za průjezd.

V rámci **veřejné zakázky výdaje** peněžních prostředků do státního rozpočtu zahrnují:

1. Výdaje na projektování
2. Výdaje na vykoupení pozemků
3. Výdaje na přípravu území k výstavbě
4. Výdaje na stavební práce
5. Provozní výdaje (bez DPH)

Jak bylo uvedeno výše, nepřímé rozpočtové efekty jsou stejné v případě realizace projektu užitím jakékoliv projednávané metody, a proto **ukazatel nepřímé rozpočtové efektivity** nemá vliv na výběr mechanismu realizace projektu viz metodika [7].

NPV převoditelných rizik

Peněžní hodnota převoditelného rizika v ukazateli rozpočtové efektivity představuje náklady veřejného sektoru, které by on sám musel vynaložit v případě realizace identického projektu vlastními silami. Při výpočtu se používají odhadované pravděpodobnosti dopadů rizika vyjádřené v modelu jejich čistou současnou hodnotou jako kumulovaný cash flow. Do této položky se také zahrnují i možné náklady na pojištění rizik, které by veřejný sektor musel provést.

NPV zadržených rizik - ponechané riziko

Třetí významnou položkou ukazatele rozpočtové efektivity, která vyjadřuje nákladové zhodnocení rizik, která nebude převedena na soukromého partnera a bude ponechána ke správě veřejného sektoru, je NPV zadržených rizik.

Základem finančního modelu rozpočtové efektivity je analýza předvídatelných projektových výdajových a příjmových peněžních toků bez započítaní rizik. Pro každou výdajovou a příjmovou položku se určuje čas, tj. ve kterých letech v průběhu projektu se daná hodnota vyskytne. Výsledná hodnota modelu rozpočtové efektivity v rámci **veřejné zakázky** se vyjádřuje čistou současnou hodnotou projektu.

Finanční model rozpočtové efektivity v rámci **koncese** stejně jako model rozpočtové efektivity v rámci veřejné zakázky představuje souhrn diskontovaných peněžních toků. A ve větší míře měl by využívat stejných předpokladů, které byly použity v modelu veřejné zakázky, zejména výši inflace a diskontní sazby. Tyto předpoklady jsou velice důležité pro účely porovnání obou možností realizace. Na druhou stranu je třeba brát na zřetel odlišnosti v daních, nakládání s odpisy a se zůstatkovými hodnotami, rozdíly v projekcích peněžních toků a hlavně odhad požadované výnosnosti vlastního kapitálu soukromého partnera. Pro konstrukci finančního modelu rozpočtové efektivnosti v rámci koncese je nejprve nutné sestavit výkaz peněžních toků soukromého partnera jako toky vynaložených

jím výdajů a příjmů a také platby za dostupnost, a to v takové výši, aby soukromý partner dosáhl požadovanou míru výnosnosti vlastního kapitálu. Následně se určí čistá současná hodnota peněžních toků zadavatele vyjadřující NPV rozpočtové efektivity v rámci koncese bez uvažování rizik, metodika [7].

Způsoby integrace rizika do investičního rozhodování jsou popsána v kapitole 4. Jelikož podle metodiky [7] musí být čistá současná hodnota rozpočtové efektivity zadavatele v rámci koncese bez uvažování rizik projektu, v následující subkapitole vysvětlím důvod, proč nemohou být rizika zabudovaná do diskontní sazby a jaké s tím mohou být spojeny problémy.

3.3 Problémy související se stanovením diskontní sazby u projektů typu PPP

3.3.1 Všeobecná klasifikace rizik projektů

Za účelem hlubší analýzy problému používání diskontní sazby ve finančním modelování PPP projektů se musí nejdříve prozkoumat klasifikace rizika podle nejrůznějších kritérií a hledisek, která třídí riziko na:

- podnikatelské
- vnitřní a vnější
- systematické a nesystematické

Rizika spojená s podnikatelskou činností můžeme rozdělit na, Veber [52]:

- technická – technicko-technologická
- výrobní
- ekonomická
- tržní
- finanční
- politická (sociálně politická)

Klasifikace rizik na rizika vnitřní a vnější úzce souvisí s pojmem rizika na **ovlivnitelné** a **neovlivnitelné**. Vnitřní rizika se týkají interních podnikových procesů a jejich výsledků a jsou proto více ovlivnitelná než rizika vnější, která jsou spojena s nepříznivým vývojem externích faktorů.

Dalším souvisejícím členěním rizik, je rozlišování rizika na riziko systematické a nesystematické, Brealy, Meyers [5]. **Systematická**, nediversifikovatelná rizika jsou rizika, která se systematicky mění v závislosti na celkovém ekonomickém vývoji trhu. Vzhledem k tomu, že do značné míry závisejí na celkovém vývoji trhu, označují se též jako **rizika tržní**. Tato rizika ohrožují stejným způsobem všechny podnikatelské subjekty v různých oblastech podnikatelských činností. **Nesystematická rizika** jsou na tomto vývoji převážně nezávislá. Jsou to rizika specifická pro jednotlivé obory, podnikatelské

subjekty nebo jejich podnikatelské projekty. Specifické riziko se obvykle vyjadřuje jako **riziko provozní** a **riziko finanční**, Kislingerová, [23].

- **Provozním rizikem** se rozumí rozsah, v jakém je v podniku vyžíván hmotný investiční majetek, s ním spojené fixní náklady. Jedná se tedy o proporci fixních a variabilních nákladů. Je ovlivněno především podílem fixních nákladů či výdajů na celkových nákladech či výdajích, respektive skladbou aktiv a z toho plynoucí struktury nákladů. Platí, že čím vyšší má podnikající subjekt podíl fixních nákladů na celkových nákladech, tím větší je provozní riziko, Kislingerová, [23];
- **Finanční riziko** odrazí míru zapojení cizích zdrojů ve financování podniku. Je dáno především pevnými platbami a úroky, které vyplývají ze závazků vůči věřitelům. Každé zvýšení podílu cizích zdrojů v celkových zdrojích vede ke zvýšení finančního rizika, Kislingerová, [23].

Podle postupu Partnerchip Victoria a také návodů, připravených národními autoritami, které se problematikou PPP zabývají, by použitá diskontní sazba měla reflektovat VfM pro veřejný sektor a také prémii za systematické riziko spojené s realizací PPP projektu. K volbě diskontní sazby v PPP projektech existuje řada přístupů, které se vzájemně liší v aspektu zahrnutí rizik a v otázce, zda určovat diskontní sazbu z pohledu pořízení veřejným sektorem nebo z pohledu soukromého partnera.

3.3.2 Způsoby integrace rizika do investičního rozhodování

Je známo, že existuje několik možnosti zahrnuti rizik do projektu a to buď:

1. do položek peněžního toku projektu (jistotní ekvivalent peněžních toků) , anebo
2. do prémie za riziko do diskontní sazby.

Zahrnutí do položek peněžního toků

Zahrnutí rizika do položek peněžních toků projektu představuje způsob integrace rizika do investičního rozhodování tak, že riziko je vyjádřeno úpravou rizikového čistého peněžního toku investičního projektu o riziko na ekvivalentní tok za předpokladu jistoty. Rizikový peněžní tok projektu se stanoví na základě expertních prognóz nejpravděpodobnějšího peněžního toku projektu. Poté je třeba stanovit jistotní ekvivalent rizikového peněžního toku. Jistotní ekvivalent může být definován jako tok, při němž je užitek z budoucích šancí totožný se ztrátou užitku při možných záporných odchylkách od očekávaných peněžních toků. Můžeme to označit jako peněžní tok, který představuje souhrn různě pravděpodobných budoucích peněžních toků, Mařík [29]. Rozdíl mezí rizikovou a bezrizikovou variantou odhadovaného čistého peněžního toku vyjadřuje hodnotu rizika projektu v podobě rizikové prémie projektu. Jistotní ekvivalent čistého peněžního toku je třeba diskontovat pouze bezrizikovou výnosovou mírou, protože riziko již bylo do výpočtu NPV zahrnuto snížením rizikového čistého peněžního toku na jeho ekvivalentní hodnotu za předpokladu jistoty.

Stanovení jistotního ekvivalentu rizikových čistých peněžních toků projektu lze provést odhadem, a to obvykle v pásmu mezi průměrnými a minimálními hodnotami odhadovaných rizikových čistých peněžních toků. Výhodou tohoto odhadu oproti rizikové přirážce je znalost možného rozpětí, ve kterém se odhad může pohybovat, Mařík [29]. K nevýhodám této metody lze uvést následující:

- míra subjektivizmu – ekvivalentní hodnota čistého peněžního toku projektu za předpokladu jistoty totiž závisí na preferencích rozhodujícího a na jeho postoje k riziku;
- pásmo odhadu je mezi průměrnými a minimálními hodnotami více odchýleno k pesimistickým hodnotám;
- jedná se o náročný postup odrážející nejen různou výši peněžních toků v jednotlivých letech investice, ale i měnící se velikost s ní spojeného rizika.

Do prémie za riziko

Druhým způsobem integrace rizika do čisté současné hodnoty investičního projektu je zvýšení diskontní sazby o rizikovou prémii vyjadřující míru rizika daného projektu. Při vyjadřování míry rizika konkrétního investičního projektu pomocí rizikové prémie a diskontní sazby je třeba vždy rozlišovat, zda se jedná o rizikovou prémii a diskontní sazbu investičního projektu či podniku, který projekt realizuje. Shodné sazby lze použít pouze u projektů, jejichž rizikovost odpovídá rizikovosti podniku jako celku. Diskontní sazba podniku je určena náklady kapitálu používaného k jeho financování. V případě smíšeného financování podniku je třeba náklady kapitálu rozlišit na náklady vlastního a cizího kapitálu. Náklady kapitálu potřebného k financování určitého podniku představují minimální požadované výnosové procento podniku. Diskontní sazba je zde dána odhadem nákladů na vlastní kapitál při konkrétní úrovni zadlužení. Na rozdíl od nákladů na cizí kapitál, které jsou většinou dohodnuty smluvně, nebo lze získat z kapitálových trhů jako alternativní náklady cenných papírů se stejnou bonitou a mírou rizika, u nákladů vlastního kapitálu nejsou dohodnuty žádné pevné sazby.

Při hodnocení investiční zajímavosti projektu, kdy se ignoruje struktura kapitálu a možnost použití finanční páky, se použije předpoklad, že projekt bude plně financován z prostředků akciového kapitálu, se jako diskontní sazba použije hodnota akciového kapitálu. Pro odůvodnění diskontní sazby se použije model oceňování kapitálových aktiv CAPM s přihlédnutím k riziku země, které patří k projektům, realizovaným na území daného státu. V souladu s touto metodou se výpočet hodnoty akciového kapitálu provádí následovně:

$$R = Rf + \beta * (Rm - Rf) + Rp \,, \qquad (3.3)$$

kde Rf je výnos bezrizikového aktiva, $Rm - Rf$ je tržní přirážka, jako rozdíl mezi dlouhodobým výnosem akciových trhů (Rm) oproti bezrizikovým dluhopisům (Rf), β je zadlužený koeficient beta upravený o zadluženost dané společnosti, Rp – přirážka za specifické riziko projektu.

Podstata této metody spočívá v tom, že hodnota akciového kapitálu používaná jako diskontní sazba při výpočtu NPV projektu, musí vyjadřovat specifika projektu.

Výnosnost bezrizikového aktiva předpokládá možnost investic do bezrizikového aktivu, spojeného s minimálním investičním rizikem. Pro projekty je nejadekvátnějším ekvivalentem výnosnosti bezrizikového aktiva výnosnost evropských obligací daného státu, jelikož ony počítají také s rizikem země, které patří k investicím a projektům na území daného státu. Splatnost evropských obligací musí být co nejblíže k obecnému termínu koncese, době, během niž se uskutečňují kapitálové investice.

Prémie za riziko investic do akciového kapitálu (Rm – Rf) odráží dodatečnou výnosnost požadovanou investorem jako náhrada za riziko investic do aktiv s vyšší úrovni rizika ve srovnání s bezrizikovými aktivy. Prémie za riziko investic do akciového kapitálu může být hodnocena jako rozdíl mezi ukazatelem střední výnosnosti akciového trhu a výnosností z bezrizikových aktiv v dlouhodobém období pozorování. Prémie za riziko investování do akciového kapitálu se vypočítává na základě údajů akciového rizika USA. V souladu se statistickou informací zveřejněnou ve statistické sbírce „Stocks, Bonds, Bills and Inflation: Valuation Edition, 2005 Yearbook“ agentury Ibbotson Associates Inc., a založenou na dlouholetém pozorování dynamiky trhu cenných papírů USA, činí prémie za riziko investic do akciového kapitálu 7,2 % nad výnosnost z dlouhodobých pokladních závazků USA.

Koeficient β vyjadřuje riziko investic do podniků/projektů ve zkoumaném průmyslu podniku vůči investicím do akciového trhu. Vypočítává se jako průměr β v reprezentativním výběru podniků daného průmyslu. Podle údajů z internetu [4] průměr koeficientu β pro projekty v oblasti výstavby silnic a silniční infrastruktury států s rozvíjející se ekonomikou činil 0,91.

Prémie za riziko investic do specifického projektu (Rp) vychází z předpokladu, že každému projektu jsou vlastní některá specifická rizika spojená zejména s tím, že tyto projekty jsou pilotní. Obvykle se dané riziko hodnotí subjektivně a záleží na požadavcích různých investorů. Jako zobecněné hodnocení takové odměny se používají 2 %. Níže je uveden příklad výpočtu hodnoty akciového kapitálu pro projekt, použitý jako příklad pro účely této vědecké práce.

Tab.3.3 Výpočet hodnoty akciového kapitálu

Typ rizikové odměny	
Bezriziková míra výnosu	5,76 %
Prémie za riziko investic do akciového kapitálu	7,20 %
Koeficient β	0,91
Prémie za riziko investic do specifického projektu	2,00 %
Diskontní sazba	**14,29 %**

Zdoj: Zpráva k finančnímu modelu CKAD. E&Y,Moskva

Tradičně zahnuje struktura kapitálu investičních objektů v oblasti PPP a také v oblasti projektového financování použití značné míry finanční páky. Pro diskontování peněžních toků projektu

s použitím finanční páky se obvykle používají průměrné náklady kapitálu WACC, které zpravidla jsou pod hodnotou akciového kapitálu, což zvyšuje finanční efektivitu projektu. To je jeden z hlavních důvodů, proč v mnoha praktických případech se používá finanční páka. Průměrné náklady kapitálu jsou v podstatě minimálním výnosem požadovaném akcionáři a věřiteli při financování daného projektu a počítají s rizikem spojeným s financováním projektu. Průměrné náklady kapitálu se vyměřují jako hodnota úvěrového a vlastního financování projektu se zvážením struktury kapitálu. Aritmetický vzorec výpočtu průměrných nákladů kapitálu:

$$WACC=\{[kd*(1- T)] \times [D / (D + E)]\} + \{ke * [E / (D + E)]\} , \quad (3.4)$$

kde *kd* jsou náklady na kapitál věřitelů, *ke* jsou náklady na vlastní kapitál, *D* - kapitál věřitelů, *E* - vlastní kapitál, *T* - daň z příjmů.

Teoreticky je výpočet průměrných nákladů kapitálu poměrně srozumitelný a široce se využívá při investičním rozhodování, ale má to několik „háčků“. Při výpočtu hodnoty akciového kapitálu stanovení prémie za riziko investic do akciového kapitálu pouze v podobě časově neměnné rizikové prémie je značně zjednodušeným předpokladem, který v praktické realizaci může způsobit problémy. Praxe také ukazuje, že je obtížné přesně změřit β koeficient pro určitý podnik. Mnohem větší přesnosti lze dosáhnout, když se pracuje s průměrem podobných společností, ale je třeba definovat, jaká má být podobná společnost. Prémie za riziko investic do specifického projektu (Rp) se vypočítává subjektivně a záleží na požadavkách různých investorů. Riziková přirážka za specifické riziko bývá obvykle vyjádřena jako součet prémie za podnikatelské riziko a prémie za finanční riziko. Při kvantifikaci jednotlivých složek vhodné diskontní sazby je nutno postupovat opatrně z důvodu, že přílišné zkreslení hodnoty jakékoliv složky vede nevyhnutelně ke zkreslení výsledné hodnoty NPV projektu nebo jiného ukazatele.

3.3.3 Financování projektů typu PPP v současnosti

Financování projektů PPP se tradičně uskutečňuje prostřednictvím spojení peněžních prostředků z různých zdrojů, například z prostředků ze soukromého sektoru (včetně mezinárodních investorů), prostředků z rozpočtů všech úrovní, prostředků ze státních a společných podniků, úvěrových zdrojů finančně-úvěrových organizací, prostředků rozvojových institutů. Jak ukazuje mezinárodní praxe, nejčastěji ani vlastní prostředky investora ani rozpočtové zdroje nepokrývají realizaci takových dlouhodobých infrastrukturních projektů, jako je výstavba placených rychlostních silnic a dálnic. Proto se smluvní strany uchylují ke schématu financování projektů PPP prostřednictvím použití dluhového kapitálu. Je nutno podotknout, že v poslední době je nejžádanějším smíšený mechanismus financování, který předpokládá zapojení několika soukromých investorů (konsorcium) do projektu při realizaci komplexu opatření finanční podpory ze strany státu. Použití úvěrového mechanismu v procesu financování investičních projektů

realizovaných podle principů PPP předpokládá získání půjček na dlouhodobé bázi od jedné nebo několika úvěrových organizaci (je možné syndikované úvěrování) s různými typy zástavní záruky, ale především se státní zárukou a ručením. Nezřídka opatření státní podpory zahrnují i dotaci části procentní sazby úvěru. V současné době existují různé podoby státní podpory projektů nasměrované na zmírnění možného rizika pro soukromý sektor.

Pro minimalizaci rizika v procesu realizace projektu jsou nejvhodnější státní záruky a přímo dohodnuté závazky (rozpočtové dotace), které předpokládají placení určitých částek jako náhrady ze strany státu v případech určených dohodou. Zpravidla pro vylepšení situace s úvěrovým rizikem projektu a snížení hodnoty získaných půjček se používají takové mechanismy jako záruky, pojištění neplnění finančních závazků nebo záruky plnění kontraktu. Z rozpočtového hlediska jsou záruky nejvíce upřednostňovaným nástrojem podpory investičních projektů realizovaných soukromými osobami. Velice rozšířené ve světové praxi je poskytování dotací, které mají podobu přímých plateb soukromému účastníku v podobě jednorázové platby nebo splátek. V Rusku se příklady použití tohoto nástroje podpory soukromých investic v současné době omezily na dotace procentní sazby z úvěrů, které investor získává na trhu. V rámci rozvoje PPP se rozsah použití rozpočtových dotací zvyšuje s ohledem na nutnost řešit otázky náhrady části výdajů soukromému partneru na výstavbu a provozování rychlostních silnic v případě nedosažení naplánované úrovně příjmů získaných z poplatků za průjezd. Řada projektů PPP může předpokládat státní spolufinancování v podobě přímého podílu států v projektu, což nejen zvyšuje realitu jeho realizace, ale také přispívá k dosažení příznivějšího poměru mezi státním podílem a dluhem.

3.3.3.1 Používané struktury kapitálu

Zajištění finanční zajímavosti a stabilní struktury kapitálu v projektech PPP (jak ukazuje studie mezinárodní praxe) se dosahuje **poměrem vypůjčených prostředků a vlastního kapitálu (bez státních investic) v proporci maximálně 1:3.** Přičemž vypůjčené prostředky mohou být jak v podobě obchodních bankovních úvěrů, tak i v podobě infrastrukturních obligací a úvěrů od mezinárodních finančních organizaci (EBRD, Mezinárodní finanční korporace, Evropská investiční banka atd.).

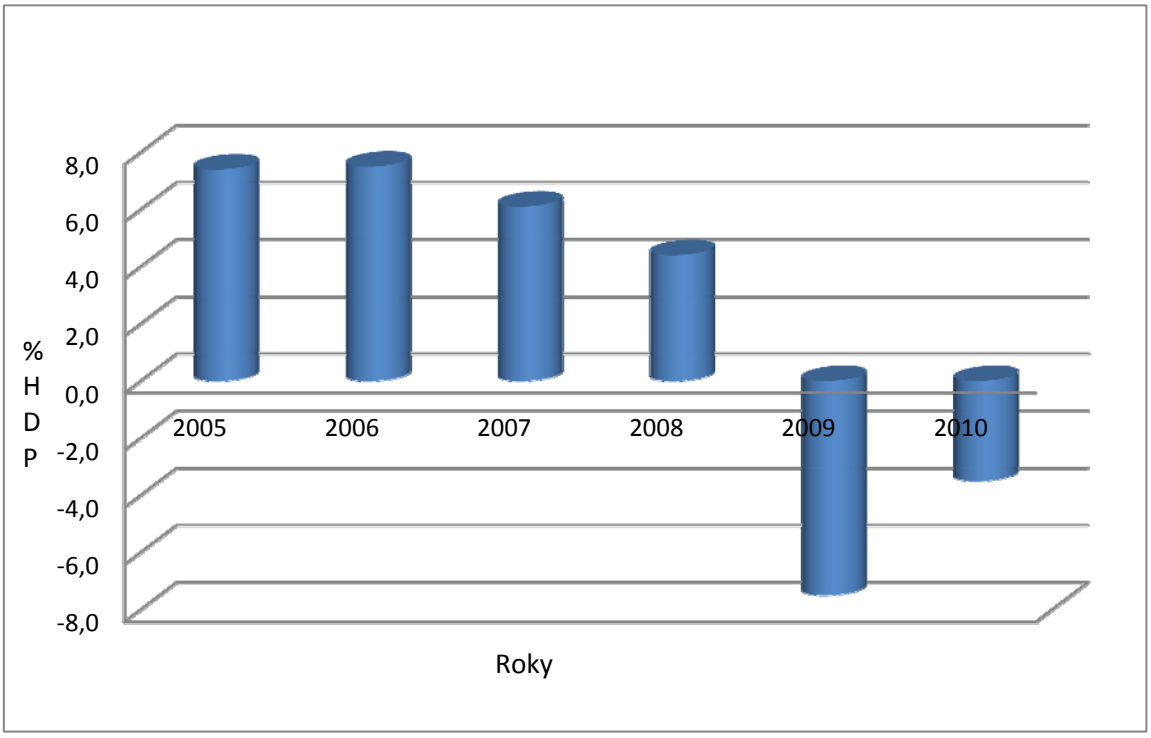
V podmínkách běžné tržní konjunktury se jeví obtížným zapojení velkého rozsahu vypůjčených prostředků od komerčních bank na dlouhou dobu za přijatelných podmínek do projektů PPP. Nejpravděpodobnější strukturou kapitálu nových projektů PPP v RF v první fázi jejich realizace je financování odpovídajících podílů z vlastních prostředků soukromého investora (jejich možnosti jsou teď menší, proto mohou financovat pouze 15-20 % potřebného rozsahu investic), přímých rozpočtových investic ze strany státu a úvěrů od mezinárodních finančních organizací. Snížení podílu akciového financování ve struktuře kapitálu projektů PPP je také spojeno se zvětšením požadované míry výnosnosti.

3.3.3.2 Vliv krize na nynější a budoucí projekty PPP

Finančně-ekonomická krize podstatně změnila představy investorů o zajímavosti různých projektů nejen v Rusku, ale v celém světě. Následky krize pro **nynější (již běžící) projekty PPP** mají následující dopady:

1. Snížení finančních možností pro všechny účastníky projektu, což ohrožuje nejen lhůty, ale i samotný fakt realizace projektu. Finanční možnosti státu (federálního rozpočtu Ruské federace) se snižují v důsledku jak snížení celkového rozsahu rozpočtových příjmů (při cenách ropy cca 30-40 dolarů za barel se očekává příjem do federálního rozpočtu na úrovni nejvýše 16 % HDP oproti 22-23 % HDP v letech 2007 – 2008), tak i nuceného financování balíčku protikrizových opatření. Přičemž pro zajištění všeobecné makroekonomické stability nesmí deficit federálního rozpočtu převyšovat 10 % HDP.

Obrázek 3.4 poskytuje údaje o zůstatku federálního rozpočtu Ruské federace v letech 2005-2010.

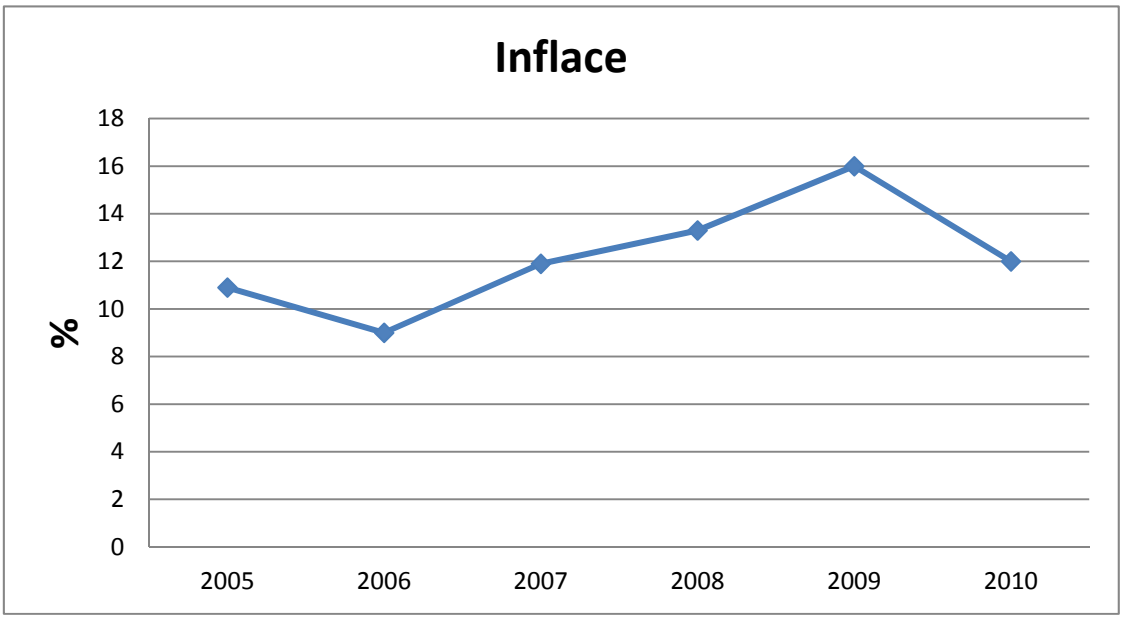


Zdroj: Ministerstvo financí Ruské federace

Obr.3.4 Přebytek (+) / Schodek (-) federálního rozpočtu RF (% HDP)

Finanční možnosti soukromých společností účastnících se PPP se snižují za prvé v důsledku snížení úrovně výnosnosti podnikání v podmínkách krize, za druhé zkrácením úvěrových nabídek ze strany bank a omezení tržního půjčování.

2. Zvýšení hodnoty realizace projektu a lhůty jeho návratnosti v důsledku zrychlení inflačních procesů a zdražování zařízení a náhradních dílů z dovozu.



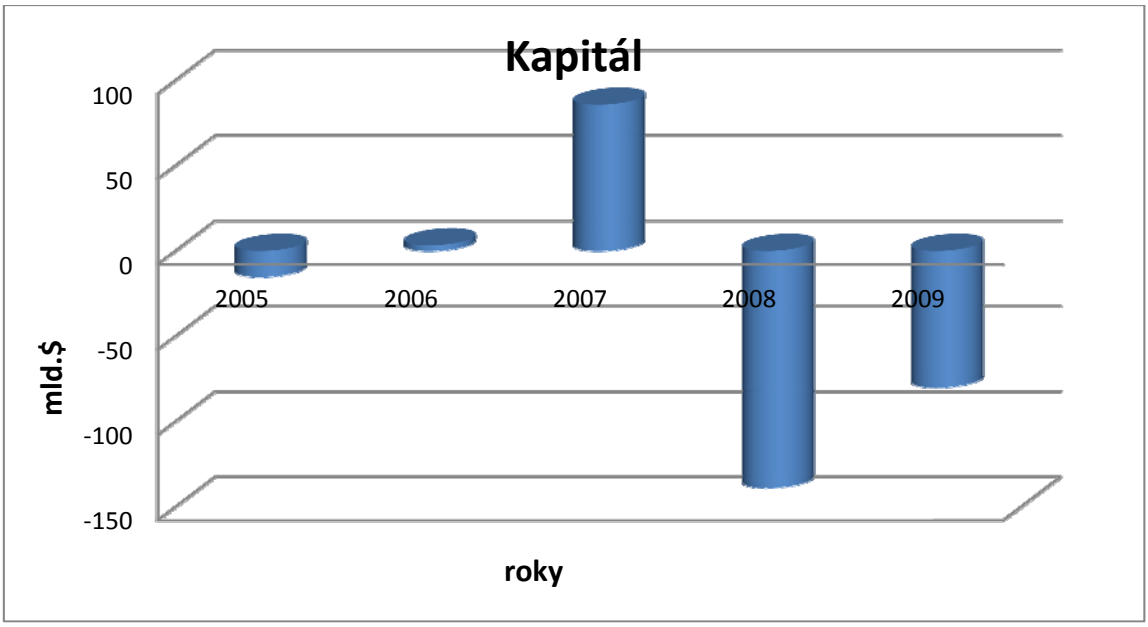
Zdroj: Rosstat.

Obr.3.5 Index spotřebitelských cen v RF (% za rok)

3. Změna ekonomických parametrů projektu a doby jeho návratnosti v důsledku změny prognózních charakteristik projektu a ekonomické aktivity ve státě.
4. Odmítnutí další účasti nebo bankrot účastníků projektu ze strany soukromého byznysu v souvislosti se změnou situace v jejich byznysu nespojeném s realizací projektu.
5. Nemožnost pojištění finančních rizik projektů v souvislosti se snížením likvidity a přehodnocením úrovně rizika na finančním trhu.

Nejpravděpodobnější následky krize pro budoucí projekty PPP:

1. Nemožnost opodstatněně spočítat hodnotu a finančně-ekonomické parametry projektu za období jeho realizace v důsledku neurčitých lhůt obnovení ekonomické aktivity po ukončení krize a aktuálnosti navrhovaného projektu po ukončení krize.
2. Odložení lhůty začátku realizace projektu na pozdější období.
3. Nemožnost zapojení vnějšího financování z bankovních ústavů nebo na finančním trhu v důsledku snížení nabídky volného kapitálu.



Zdroj: Centrální banka RF

Obr.3.6 Zůstatek účtu pohybu kapitálu v RF (v miliardách dolarů USA, «+» - příjem, «-» - výdaje)

4. Nedostatek zájmu soukromého byznysu o dlouhodobé projekty v důsledku vysoké úrovně ekonomické nejistoty oproti vysoké výnosnosti z krátkodobých alternativních druhů vkladů (například transakce s cizí měnou).
5. Nedostatek hlavních hráčů PPP trhu v soukromém byznysu, nedostatek zájmu o realizaci nových projektů v důsledku vzniku potíží s realizaci současných projektů.
6. Změna priorit státní investiční politiky z dlouhodobých PPP projektů ve prospěch aktuálních protikrizových opatření.

3.3.3.3 Očekávané míry výnosnosti požadované investory

Úroveň výnosnosti požadovaná investory v Rusku, se určovala především řadou faktorů, které mají převážně negativní vliv na očekávání investorů. K těmto faktorům patří:

- dynamika kurzu rublu vůči dolaru USA (košík s dvojí měnou),
- dynamika inflačních procesů v RF,
- rozpočtová bilance v RF,
- situace s likviditou v bankovní sféře.

V běžných makroekonomických podmínkách s ohledem na více specifická projektová a finanční rizika **očekávaná úroveň výnosnosti požadovaná investory,** kteří se účastní PPP projektů, se hodnotí na úrovni nejméně 22 - 30 % ročně (v ruských rublech), nebo 15 - 21 % ročně v amerických dolarech.

V tabulce 3.4 je uvedena souhrnná matice výpočtu očekávané míry výnosnosti požadované investory, kteří se účastní projektu v RF s ohledem na klíčová finanční rizika.

Tab.3.4 Očekávaná míra výnosnosti

Ukazatel	Prostředky v rublech		Prostředky v cizí měně	
	Projekty PPP	Soukromé projekty	Projekty PPP	Soukromé projekty
«Bezriziková sazba» na žádoucí období půjčování (sazba podle obligací Ministerstva financi Ruska)	10%	12%	7,5%	9%
Prémie za riziko aktiv	2,5%	6%	2,5%	6%
Prémie za devizové riziko	5%	6%	–	–
Prémie za riziko sektoru / projektu	3%	6%	3%	6%
Prémie za regulatorní riziko (riziko týkající se všech závazků rozpočtu a státu v projektu)	2%	–	2%	–
Celkem	22,5%	30%	15,0%	21%

Zdroj: Zpráva k finančnímu modelu CKAD. E&Y, Moskva

3.3.3.4 Úvěrové zdroje (lhůty, sazby)

Spodní hranice dostupných průměrných ročních sazeb úvěrových zdrojů v ekonomice RF v krátkodobé perspektivě se nachází na úrovni **12 % ročních** (úvěr v rublech). Ruské banky nabízejí úvěry s roční sazbou 17 - 22 %. Úvěrové sazby, které mohou získat ruští vypůjčovatelé od zahraničních bank v současné době mohou činit cca **9-14 % v amerických dolarech**: 1,7 – 1,9 % roční sazba EURIBOR na 6-12 měsíců plus prémie od státu ve výši 400 – 450 základních bodů (podle kótování CDS pro Rusko) plus individuální prémie za riziko při reálné **lhůtě úvěru nebo oběhu obligací do 3 let**. Pro neprvotřídní dlužníky zůstává tento zdroj nedostupný. V tabulce 3.5 je uvedena souhrnná matice hodnoty získaných zdrojů v komerčních bankách s ohledem na klíčová finanční rizika.

Tab.3.5 Matice hodnoty získaných kapitálových zdrojů na dobu do 3 let s ohledem na klíčová finanční rizika

Ukazatel	Prostředky v rublech		Prostředky v cizí měně	
	Projekty PPP	Soukromé projekty	Projekty PPP	Soukromé projekty
«Bezriziková sazba» na žádoucí období půjčování (sazba podle obligací Ministerstva financi Ruska)	10%	12%	7,5%	9%
Prémie za devizové riziko	5%	6%	–	–
Prémie za riziko sektoru / projektu	3%	6%	3%	6%
Prémie za regulatorní riziko (riziko týkající se všech závazků rozpočtu a státu v projektu)	2%	–	2%	–
Celkem	20%	24%	12,5%	15%

Zdroj: Zpráva k finančnímu modelu CKAD. E&Y, Moskva

Je nutno podotknout, že pro projekty PPP v RF jsou dostupné úvěry od mezinárodních finančních organizací, které mají za cíl motivování a rozvoj ekonomiky ve státech střední a východní Evropy a státech SNS, jako např. od Evropské banky rekonstrukce a rozvoje, Evropské investiční banky, Mezinárodní finanční korporace, Evroasijské banky rozvoje atd. Uvedená finanční zařízení jsou připravena poskytnout rozsáhlým projektům PPP realizovaným v RF, dlouhodobé úvěry na 15-20 let se sazbou podstatně nižší, než je sazba komerčních bank: 7-10 % v cizí měně ročně za podmínky existence mechanismu řízení devizových rizik projektů. Pro vyřešení tohoto problému se pro Rusko jeví účelným na trh uvedení nového finančního nástroje, **infrastrukturních obligací.** Hlavní osobou infrastrukturních obligací v projektech PPP se stává osoba, která je koncesionářem podle koncesní dohody. Touto osobou může být společnost založená speciálně kvůli účasti v konkurzu a splnění podmínek koncesní dohody (SPV). SPV uzavírá koncesní dohodu, v souladu s níž přijímá závazky ohledně vytvoření a/nebo rekonstrukce majetku určeného touto dohodou. Financování vytvoření a/nebo rekonstrukce objektu koncesní dohody může uskutečňovat SPV i prostřednictvím vydání obligací. SPV získává příjem z provozu objektu koncesní dohody a z prostředků tohoto příjmu realizuje splácení vydaných obligací.

Prognóza střednědobé a dlouhodobé perspektivy vývoje situace na dluhovém trhu, včetně obligačních půjček, bankovních úvěrů, syndikovaných a klubových obchodů (kapacita trhu, parametry umístění)

Tab.3.6 Sazby ze získávání vypůjčených prostředků na vnitřním nebo vnějším finančním trhu

Ukazatele	2015	2020	2030
Rozsah úvěrů, poskytnutých nefinančnímu sektoru ekonomiky	30% HDP / 1 trilion USD	45% HDP / 2,35 trilionů USD	60% HDP / 4,7 trilion USD
Rozsah investic komerčních bank do obligací nefinančního sektoru	3% HDP / 100 miliard USD	6% HDP / 315 miliard USD	12% HDP / 950 miliard USD
Potenciální rozsah prostředků soukromého sektoru (vnitřní a vnější), nasměrovaný do segmentu PPP	1% HDP / 33 miliard USD	3% HDP / 158 miliard USD	4% HDP / 316 miliard USD
Rozsah půjček ruských společností na vnějších trzích	60 miliard USD	150 miliard USD	250 miliard USD
Průměrná efektivní procentní sazba z rublových korporativních obligací / úvěrů nefinančnímu sektoru	7,0-9,0 % ročně	5,0-5,5 % ročně	4,5-5,0 % ročně
Průměrná sazba z vnějších půjček ruských společností	LIBOR + 3-3,5%	LIBOR + 2-2,5%	LIBOR + 2-2,5%

Zdroj: Zpráva k finančnímu modelu CKAD. E&Y, Moskva

V tabulce jsou uvedeny sazby ze získávání vypůjčených prostředků na vnitřním nebo vnějším finančním trhu v souladu s nejvyšším investičním ratingem projektu, tj. za podmínky realizace projektu **s pomoci federálního rozpočtu nebo rozpočtů subjektů RF, kteří mají investiční rating na úrovni ratingu země.**

V případě realizace projektu PPP za účasti **rozpočtu regionu RF, který má investiční rating nižší, než je rating země o 1-2 stupně,** zvýší se hodnota získaných kapitálních zdrojů o cca 1-2 procentní body ročně v rublech nebo o 0,5 – 1 procentní bod z vnějších půjček.

3.3.3.5. Stanovení diskontní sazby projektů typu PPP

Zvláštní pozornost si zaslouží otázka použití diskontních sazeb a hodnoty kapitálu (WACC) při hodnocení parametrů projektů PPP.

Před začátkem rozvoje krizových jevů v RF činily průměrné náklady kapitálu pro střednědobé a dlouhodobé projekty přibližně 10 - 12 % ročně v rublech nebo 8 - 10 % ročně v cizí měně.

V současné době při nalezení požadovaného souladu se lhůtou vnějšího financování činí průměrné náklady kapitálu nejméně 20 % ročně v rublech nebo 15 % ročně v cizí měně.

Při prognozování získání kapitálu v rámci projektů PPP se střednědobou perspektivou lze stanovit **průměrné náklady kapitálu (WACC)** za podmínky zapojení rozpočtových prostředků s podílem 25 % na úroveň ročně 7-9 % v rublech nebo 4-6 % v amerických dolarech v rámci základního scénáře rozvoje ekonomiky, což znamená 10 -12 % ročně v rublech a 8,0-,5 % ročně v amerických dolarech při pesimistickém scénáři rozvoje ekonomiky státu.

V souladu s výše uvedeným by **diskontní sazba** investičních projektů realizovatelných za podmínek PPP měla činit 7 - 9 % ročně při propočtu projektu v rublech nebo 4 - 6 % ročně při propočtu projektu v amerických dolarech přo základní scénář rozvoje ekonomiky, a 10 -12 % ročně při propočtu projektu v rublech a 8,0 -,5 % ročně při propočtu projektu v amerických dolarech v rámci pesimistického scénáře rozvoje ekonomiky státu.

3.3.3.6 Rozpočtová diskontní sazba

V případě, že finanční páka nemůže zajistit účelovou rentabilitu akciového kapitálu a splnění úvěrových koeficientů, se objevuje zřejmá nezbytnost dodatečné státní podpory za podmínky kladné sociálně-ekonomické efektivity. Tato podpora může mít podobu kapitálových a provozních dotací. Ale stejně jako v případě použití finanční páky musí stát provést analýzu formy a efektivity státní podpory. Jedním z kritérií hodnocení je rozpočtová efektivita. V případě, že stát plánuje po ukončení lhůty provozní koncese provozovat dálnici na placeném základu, pak zkrácení lhůty provozní koncese značně zvýší rozpočtovou efektivitu. Ale z druhé strany to může vést k nezbytnosti zvýšení úrovně státní podpory pro dosažení cílové výnosnosti akciového kapitálu. Proto hlavním cílem této etapy je určení bilance zájmů státu, investorů a finančních organizací, což se dá matematicky vyjádřit jako bilanci mezi úrovní státní podpory z jedné strany a lhůtou provozní koncese z druhé strany. Pro splnění tohoto úkolu je nutné provést analýzu scénáře týkající se lhůty provozní koncese a finanční páky, kde se propočítává potřebná úroveň státní podpory pro dosažení požadované vnitřní normy výnosnosti akciového kapitálu pro každý ze scénářů.

Při propočtu kriterií hodnocení rozpočtové efektivity se používá rozpočtová diskontní sazba, která vyjadřuje alternativní hodnotu vkladu rozpočtových prostředků. V souladu s metodickými pokyny se rozpočtová diskontní sazba určuje centrálně státními orgány. Až do jejího určení může

být tato sazba stejná jako výnos bezrizikových aktiv s úpravami na riziko projektu pro stát (riziko nespolehlivosti účastníků projektu, neobdržení příjmů předpokládaných projektem v plné výši). Rozpočtová diskontní sazba v této práci zkoumaného projektu je stejná jako bezriziková sazba, která vyjadřuje hodnotu zapojeného kapitálu pro stát. Jako bezriziková diskontní sazba může být použita prognóza výnosnosti státních dlouhodobých obligací, jejichž datum splatnosti je srovnatelné s dobou trvání projektu. Přitom finanční model předpokládá, že za období prognózy se změní bezriziková sazba výnosnosti v souvislosti se změnami fundamentálních makroekonomických ukazatelů, nejdůležitějším z nichž je růst spotřebitelských cen (ISC – index spotřebitelských cen). V dlouhodobé prognóze se bezriziková sazba pro stát rovná 4,5 % při ISC na úrovni 2-3 %. Získaná dlouhodobá prognóza rozpočtové diskontní sazby se koordinuje se statistikou vyspělých států. Prognóza na úrovni 4,5 % odpovídá historické výnosnosti státních obligací USA při inflaci 1-2 %.

3.4 Metodika srovnávací analýzy efektivity realizace projektu v podobě státní zakázky a koncesí

Když uděláme závěr z výše uvedené analýzy zahrnutí prémie za riziko do diskontní sazby PPP projektů, můžeme konstatovat, že tato možnost zahrnutí rizik do projektu je spojena se značnými potížemi, které záleží na následujících předpokladech:

1. Diskontní sazba přímo závisí na struktuře financování projektu a v této souvislosti je složitější určit prognózu ukazatele WACC. Má se na paměti, že financování projektů PPP se tradičné uskutečňuje prostřednictvím spojení peněžních prostředků z různých zdrojů, z prostředků soukromého sektoru (včetně mezinárodních investorů), z prostředků z rozpočtů všech úrovní, z prostředků státních a společných podniků, z úvěrových zdrojů od finančně-úvěrových organizací. Přičemž se musí zdůraznit ještě jeden důležitý aspekt: v poslední době je nejžádanějším smíšený mechanismus financování předpokládající zapojení několika soukromých investorů (konsorcium) do projektu, kteří mají odlišné požadavky na ukazatel vnitřního výnosového procenta, tj. očekávanou míru výnosnosti.
2. I když teoreticky tuto situaci by bylo možné zlepšit použitím infrastrukturních dluhopisů pro financování PPP projektů, v praxi to velmi často neodpovídá realitě, protože ve státech střední a východní Evropy pro to nejsou vhodné podmínky v legislativách - na rozdíl od západní Evropy. Bylo by třeba provést řadů změn v zákonech jak na státní tak i na municipální úrovní.
3. Praxe také ukazuje, že je obtížné přesně změřit β koeficient pro určitý podnik nemluvic již o projektech typu PPP. Přesnosti lze dosáhnout, když je budeme porovnávat s průměrem

podobných projektů, ale je třeba brát na zřetel fakt, že každý projekt je zvláštní a velmi těžko lze stanovit, jaký má být podobný projekt.

4. Riziková přirážka za specifické riziko bývá obvyklé vyjádřena jako součet prémie za podnikatelské riziko a prémie za finanční riziko. Jak již bylo řečeno výše, specifické riziko se obvykle vyjadřuje jako riziko provozní a riziko finanční. Riziko provozní záleží na proporci fixních a variabilních nákladů. Vzhledem ke specifice zkoumaného projektu výstavby a provozu zpoplatněného dálničního okruhu, má riziko intenzity dopravy vlastnosti rizika systematického, závislého na celkovém ekonomickém vývoji regionu a také rizika nesystematického spojeného se specifikou daného oboru, na případném překročení výdajů na provoz a údržbu silnice v důsledku změny intenzity dopravy.

Částečně i finanční riziko, které odráží míru zapojení cizích zdrojů ve financování projektu, má v sobě prvky systematického rizika závislého na stavu finančního trhu – na krizi, vývoji úrokových sazeb, devizových kurzů, které budou použitý při financování projektu, makroekonomických ukazatelích, které mají vliv na ukazatele efektivnosti projektu.

Po prozkoumání výše uvedených předpokladů navrhuji nový přístup k formalizaci a propočtu rizik PPP projektů. V první řadě bych se nemělo vycházet z klasifikace rizik dle kategorie systematické – nesystematické riziko, ale z klasifikace rizik, která závisí na vnitřních a vnějších faktorech vlivu při zhlédnutí míry pravděpodobnosti vzniku rizika během celkové doby realizace projektu. Vliv vnějších rizikových faktorů, které jsou vlastní projektu během doby jeho realizace a mají stejnou míru pravděpodobnosti vzniku (např. makroekonomická rizika), se bude odrážet v diskontní sazbě projektů z pohledu pořízení projektu veřejným sektorem „rozpočtovou " diskontní sazbou. Vliv vnitřních faktorů rizik, která souvisí se samotnou realizaci projektu, interních projekčních procesů a která jsou více ovlivnitelná než rizika vnější a mají odlišné míry pravděpodobnosti vzniku během životnosti projektu, je vhodné začlenit do položek peněžního toku projektu. Při tomto způsobu je nutné dbát na to, aby vnitřní rizika nebyla zapojená do projektu dvakrát, a proto je třeba **diskontovat pouze bezrizikovou výnosovou mírou**, která v našem případě zahrnuje vnější rizika projektu a rovná se „rozpočtové“ diskontní sazbě. Svým způsobem, dělá použití stejné diskontní sazby pro model veřejného a soukromého sektoru modely porovnatelné.

Ohledně vnitřních finančních rizik, která zohledňují způsob financovaní PPP projektu, jejích hodnota bude započtena do výše požadované platby koncesionářů, tj. při finančním modelování projektu budou zabudovány do peněžních toků.

Takže mnou navrhovaný způsob hodnocení rizik PPP projektů předpokládá použití možnosti zahrnutí rizik do projektu jak do diskontní sazby, tak i do položek peněžního toku projektu, tzv. „hybridní“ způsob.

Zvlášť by se mělo zdůraznit riziko poptávky. Z důvodu specifiky vytváření dopravních toků na silničních okruzích je riziko poptávky v projektu důležité, zvláště v začátečním stádiu realizace projektu, kdy větší část okruhu ještě není vybudována. Předání rizika poptávky soukromému sektoru bude mít tyto důsledky:

- zvýší se požadovaná míra výnosnosti akcionářů (požadovaný význam IRR),
- věřitelé projektu budou požadovat zvýšení podílu vlastního kapitálu,
- při provedení hodnocení projektu budou věřitele vycházet z nejkonzervativnější prognózy intenzity provozu a odpovídajících příjmů projektu,
- budou potřebné záruky minimálního příjmu, postačujícího pro servis dluhu ze strany státu.
- úvěrové koeficienty budou nastaveny na vyšší úroveň.

Veškeré výše uvedené faktory budou mít za následek zkrácení rozsahu zapojovaného soukromého kapitálu, a také zvýšení jeho hodnoty. V souvislosti s nemožností zhodnotit a kontrolovat riziko poptávky budou zřejmě akcionáři a věřitelé projektu požadovat poskytnutí dodatečných záruk ze strany státu. S ohledem na výše uvedené se jako základní mechanismus úhrady nákladů a zajištění výnosnosti kapitálu koncesionáře doporučují využít platbu za dostupnost (provozní poplatky). Použití mechanismu provozních poplatků dovolí předat riziko poptávky státu a zafixovat rozsah příjmů koncesionáře, což učiní projekt zajímavějším pro investory a dovolí zapojit větší část soukromého kapitálu za nižší hodnotu. Nehledic na to, že riziko poptávky bude přeneseno na stát, neexistuje jakákoliv metodika jeho výpočtu při propočtu rozpočtové efektivity s ohledem na rizika projektu. Jelikož neexistuje jakákoliv statistická báze znalostí této problematiky v praxi, posuzuje se toto riziko obvykle vytvořením několika scénářů intenzity dopravy podle makroekonomických ukazatelů vývoje regionu. Potom se podle jednoho z nich dělá prognóza předpokládaných příjmů z poplatků za průjezd. Svým způsobem, se riziko poptávky hodnotí jen analýzou citlivosti, což neodpovídá skutečnosti, když chceme zjistit, jak hodnota zadržených a převedených rizik ovlivní ekonomickou (rozpočtovou) efektivitu PPP projektu. Proto v této práci navrhuji použít pro přesnější prognózu intenzity dopravního provozu aparát **nepřesné logiky**, který poskytuje prostředky pro modelování fenoménu vágnosti pro model expertního usuzování.

Pro výběr optimální varianty realizace projektu porovnávám souhrnné ukazatele přímé rozpočtové efektivity s ohledem na rizika pro státní zakázku a PPP, viz metodika [5]. Vnitřní rizika mají odlišnou pravděpodobnost vzniku v průběhu lhůty realizace projektu, proto se s nimi počítá při úpravě peněžních toků. Pro účely analýzy provedené v této práci se úprava

peněžních toků státu odráží na velikosti rizik v souhrnném ukazateli rozpočtové efektivity následujícím způsobem:

- **Partnerství veřejného a soukromého sektoru**: NPV rozpočtové efektivity PPP = NPV přímých rozpočtových efektů – NPV rizik veřejného sektoru (rizika, která nese stát v souladu s koncesní dohodou), kde:

➢ NPV přímých rozpočtových efektů - částka peněžních toků státu bezprostředně z projektu realizovatelného v podobě PPP, za dobu prognózování, diskontní podle bezrizikové rozpočtové sazby,

➢ NPV rizik veřejného sektoru - čistá současná hodnota vlivu rizik (která nese veřejný sektor v souladu s koncesní dohodou) na peněžní toky státu s ohledem na pravděpodobnost jejich vzniku.

Ukazatel rozpočtové efektivity s ohledem na rizika pro veřejnou zakázku se liší od varianty PPP hodnocením rizik předávaných koncesionáři v případě PPP, která při veřejné zakázce ponese stát jako jediný účastník projektu:

- **Veřejná zakázka**: NPV rozpočtové efektivity (VZ) = NPV přímých rozpočtových efektů - NPV rizik veřejného sektoru – NPV rizik koncesionáře, kde:

➢ NPV přímých rozpočtových efektů - částka peněžních toků státu bezprostředně na projektu realizovatelného v podobě VZ, za dobu prognózování, diskontní podle bezrizikové rozpočtové sazby,

➢ NPV rizik veřejného sektoru - čistá současná hodnota vlivu rizik (která při variantě PPP nese veřejný sektor v souladu s koncesní dohodou) na peněžní toky státu s ohledem na pravděpodobnost jejich vzniku,

➢ NPV rizik koncesionáře - čistá současná hodnota vlivu rizik (která při variantě PPP by byly předány koncesionáři) na peněžní toky státu s ohledem na pravděpodobnost jejich vzniku.

4 Integrace rizika do investičního rozhodování

4.1 Projektová rizika a rizika projektu PPP

4.1.1 Cíle rizikové analýzy

Riziková analýza projektu může mít a má různé **cíle**:

- podpora **projektového managementu** (základním cílem je podporovat projektový management, tj. dosahovat cílů v oblasti věcného plnění projektu, jeho výkonových parametrů, kvality, termínů a nákladů),
- podpora **schvalovacího procesu projektu** (cílem je vyhodnocení celkové rizikovosti projektu a přijatelnosti takového rizika pro investora),
- podpora **vyhodnocení různých variant** (různé varianty doprovázejí různá rizika; náklady rizik mohou být významným faktorem jejich hodnocení a srovnání – specificky srovnání VZ / PPP),
- podklad pro **finanční model projektu** (finanční model musí počítat vedle dalších položek i s náklady rizik projektu),
- podpora **obchodního a právního managementu** tj. podklad pro zpracování **koncesní smlouvy**, **dodavatelských smluv a jejich příloh** (smlouvy upravují zejména rizikové stavy ve vzájemných dodavatelských vztazích; přenos rizik je nutné efektivně smluvně podchytit).

Počet rizik v rizikové analýze

Obecně platí, že projekt významným způsobem ovlivňuje pouze malý počet specifických rizik. Pokud tento aspekt promítneme do srovnávacích analýz a finančního modelu, není nutné přespříliš počet identifikovaných rizik rozšiřovat mimo tento okruh (max 20 - 30). Pro projektový a obchodně - právní management je nicméně nutné znát všechna i na první pohled minoritní rizika (může jich být i např. 300). Rizikovou analýzu je nutné provést komplexně a pečlivě s tím, že např.v rámci finančního modelu můžeme ocenit jen omezený okruh rizik.

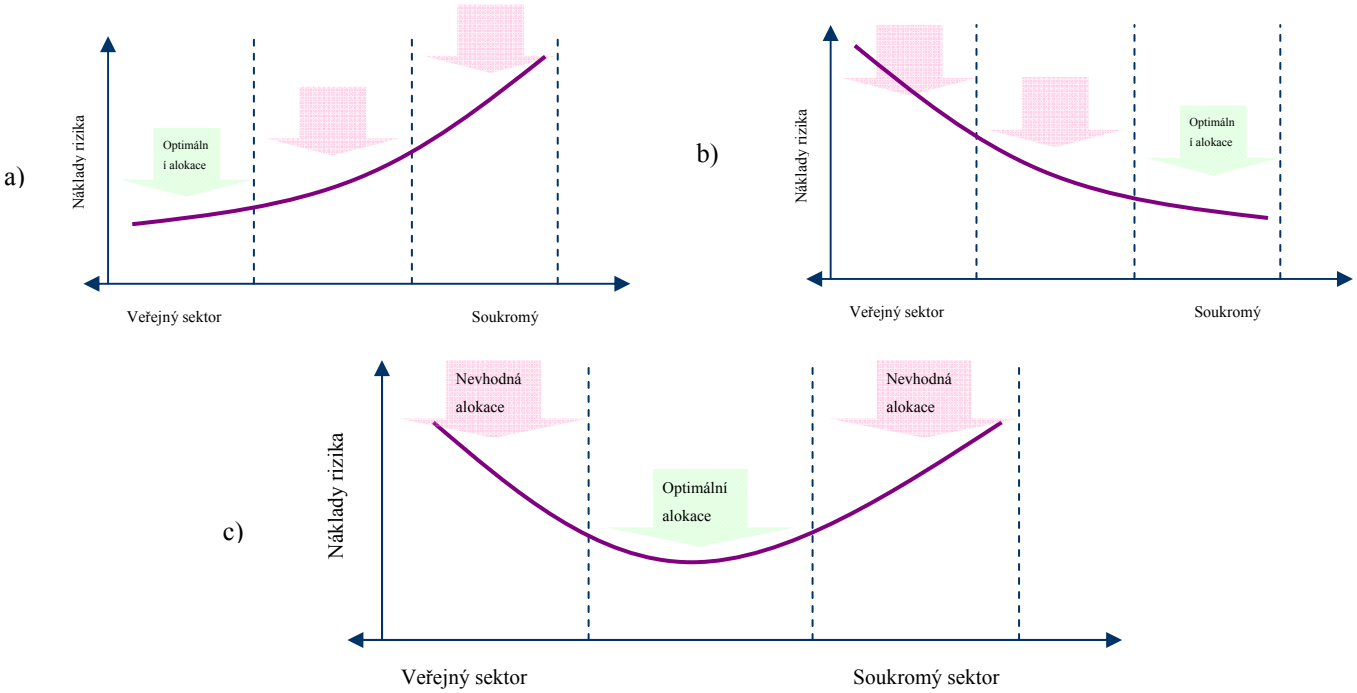
4.1.2 Riziková analýza projektu realizovaného ve spolupráci se soukromým sektorem

Specifickou podobu má riziková analýza a rizikový management v prostředí projektů realizovaných veřejným sektorem ve spolupráci se sektorem soukromým. Zadáním konkrétní rizikové analýzy PPP projektu je:

- identifikovat potenciální rizika, jejichž vznik je možný v libovolné fázi životního cyklu projektu

- identifikovat mezi nimi rizika taková, která jsou pro projekt kritická (tj. mohou mít vliv na dosažení definovaných cílů projektu)
- určit možné mechanismy řízení rizik a minimalizace jejich dopadů
- navrhnout optimální rozdělení rizik
- připravit návrh konkrétní podoby PPP modelu založený na rozdělení rizik mezi veřejným a soukromým partnerem (a následně dalšími subjekty napříč celým dodavatelským řetězcem)

Jedním z klíčových kroků přípravy PPP projektu (ve fázi zpracování studie proveditelnosti resp. koncesního projektu) je zpracování indikativního finančního modelu (což je krok, který následně zopakuje při zpracování své nabídky každý z uchazečů). Rizikovou analýzu potřebujeme k tomu, aby se vypočítaly možné náklady rizik a to tak, že se ocení pravděpodobnost a četnost rizik a také rozsah možných dopadů. V přípravě PPP projektů patří tento krok k rutině. Avšak není možné se soustředit jen na kalkulaci nákladů rizik. Mnohem důležitější je pochopení podstaty rizika, jeho okolností a také možných prostředků jeho ošetření. Tento cíl (vyjma snad rozdělování rizik mezi veřejným a soukromým partnerem) není bohužel ve většině PPP projektů zadáván a proto sledován. Pokud následně sledujeme reálné problémy PPP projektů a důvody jejich zastavení či jiných komplikací v přípravě zjišťujeme, že byla podceněna zejména ta rizika, která nepodléhají kalkulaci při výpočtu nákladů rizik nebo dílčí úloze rozdělení rizik mezi veřejným a soukromým sektorem.



Obr.4.1 Princip synergie při alokaci rizik tři specifické rizikové scénáře: a) riziko ponechat na veřejném sektoru, b) riziko plně přenést na soukromý sektor, c) riziko sdílet. Zdroj [25].

Riziková analýza je zaměřena nejen na identifikaci a ocenění rizik projektu obecně, ale také na **srovnání rizik konvenčního modelu realizace s modelem PPP**. Cílem je zjistit přínos modelu PPP v oblasti sdílení a přenosu rizika jako podklad pro následné vyhodnocení modelu v rámci koncesního projektu, který bude předložen ke schválení vládě.

V případě spolupráce veřejného sektoru se soukromým se vždy nabízí přenos rizika z veřejného na soukromý sektor. Mechanické přenesení rizika je však zrádné, nedochází totiž k reálnému řešení rizika, tj. snížení jeho nákladů.

Namísto principu mechanické substituce vztahu k riziku je nutné uplatnit princip synergie vzájemné spolupráce veřejného a soukromého sektoru, tj. přenášet riziko vždy jen na toho, kdo s ním umí lépe zacházet a tím objektivně snížit jeho náklady. Někdy je optimální společné sdílení rizika – spolupráce obou na jeho snížení.

4.1.3 Vyšší hodnota za peníze a optimální úloha nákladů rizik v ní

Cílem projektů typu PPP je **dosáhnout vyšší hodnoty za peníze** a to i **cestou minimalizace rizik projektu**. Objektivním cílem PPP projektů (bereme-li jako motor PPP nákladová hlediska) je snížení všech nákladů projektu tj.:

- investičních nákladů,
- provozních nákladů,
- nákladů technické správy a údržby,
- nákladů životního cyklu.

Velmi často však PPP projekty způsobí zvýšení některé z uvedených kapitol nákladů – například nákladů provozních či nákladů technické správy a údržby (u silničních projektů často proto, že soukromý sektor musí dodržet všechny zákonné postupy a úkony, což je nákladnější než rozpočtovaná údržba, v níž, pokud nejsou k dispozici peníze, potřebné úkony dle určitých priorit vykonávány nejsou). **V konečné bilanci hodnoty za peníze pak často náklady rizik ji zvrátí**, jinými slovy dojde ke zvýhodnění PPP (vzorová nabídka soukromého investora) oproti PSC (čistá současná hodnota projektu realizovaného konvenčním způsobem).

Taková změna je sice zdůvodnitelná a objektivně správná, argumentačně však může být u nedostatečně vzdělané veřejné administrativy a veřejnosti problematická. Teze, že **hlavním přínosem PPP projektů je snížení či eliminace jeho rizik** je sice obecně přijímána, pokud však dojde na kalkulaci samotných nákladů rizik, je kalkulace velmi často zpochybňována. Někdy jsou pochybnosti účelové, ale i to je nutné chápat a vědět jak se s tím vypořádat.

Proto je velmi důležité podrobné zdůvodnění každé jednotlivé položky nákladů rizik, jejího ocenění a podstaty synergie spolupráce veřejného a soukromého sektoru směřující k úspoře.

4.2 Analýza rizik na úrovní studie proveditelnosti koncese

4.2.1 Identifikace rizik projektu

Riziko obecně představuje možnost odchýlení skutečných výsledků od očekávaných. Jedná se tedy o významný faktor, který může ohrozit úspěšné dokončení projektu z hlediska výnosů, kvality, času nebo nákladů.

Rizikem rozumíme jakoukoliv **událost**, jev, činnost či situaci, která může mít **negativní dopad na cíle projektu**[11].

V oblasti dopravní infrastruktury bývají největší obavy v oblasti investičních nákladů projektu a celkové doby realizace. Tento postoj spíše vyjadřuje postoj investorů, než aby byl skutečně vyvážený. Rizika jsou především v oblasti kvality a hodnoty projektu, v oblasti provozních nákladů a také nákladů životního cyklu, subjektivně se jim však nepřikládá takový význam.

Riziko nelze nikdy zcela eliminovat. Lze jej ale analyzovat, monitorovat a řídit s cílem vyhnout se významným ztrátám. Prvním krokem rizikové analýzy je **identifikace všech relevantních rizik**, která se k danému projektu vztahují.

Cílem identifikační fáze rizikové analýzy je sestavit „seznam" všech rizik (long list), která mohou konkrétní projekt ohrozit. Cílem je také předběžná **analýza přirozené povahy rizik**, jejich **vzájemné incidence** a jejich vzájemné **podmíněnosti**.

Ideální by bylo důsledné rozpoznání všech **rizikových řetězců** (prvotní a vyvolaná rizika, izolovaná rizika, rizikové shluky) a identifikace takových prvotních rizik v řetězcích, které mohou zprostředkovaně způsobit značné materiální škody či ohrozit projekt jako takový.

Vhodné by bylo také identifikovat **riziková prostředí** podporující vznik a prohlubující důsledky specifických rizik. **Genetický přístup** rizikového managementu spočívající v nevytváření prostředí pro vznik specifických rizik a v potlačení podhoubí pro vznik rizik je mnohdy účinnější než strategie zaměřená na jednotlivá rizika.

Jak bylo již dříve uvedeno riziková analýza a i **identifikace rizik se provádí za různým účelem**. Ne vždy se tyto specifické **mapy rizik** plně shodují. Jedním z mezních účelů je stanovení rizikové strategie projektu pro potřeby jeho managementu. Protipólem co do rozsahu je pak např. ocenění rizik pro potřebu finanční a ekonomické analýzy projektu. Při sestavování **matice rizik** je vhodné postupovat konzistentně a komplexně a nedat příliš velký prostor specifickému účelu.

Protože se náklady rizik vyhodnocují v návazných krocích, je nutné jednotlivá rizika identifikovat tak, aby následné ocenění rizik nevedlo k celkovému nadhodnocení rizika projektu. **Jsou-li důsledky**

[11] Jak uvádí zdroj [51] jednou z definic rizika je pravděpodobná hodnota ztraty, vyjádřená v peněžních nebo jiných jednotkách.

nějakého rizika již podchyceny jednou, nesmí se v rámci oceňovací tabulky do rizikové analýzy promítnout (a to ani zprostředkovaně) opakovaně.

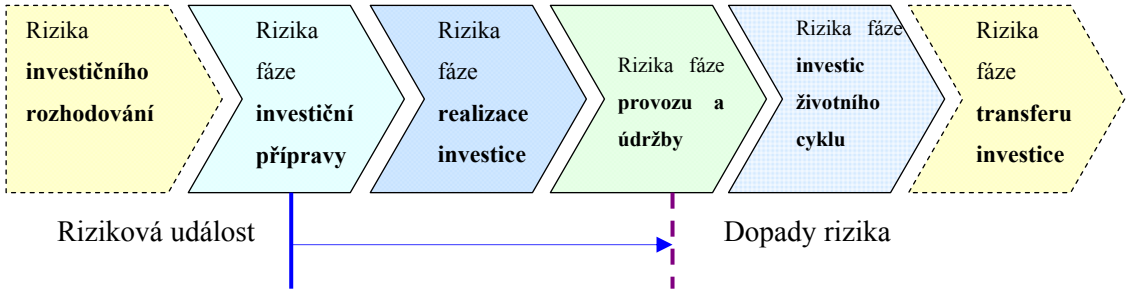
4.2.2 Doba vzniku a dopadu rizika

Je nutné zdůraznit, že **doba vzniku rizikové události** a **doba, kdy se budou řešit důsledky** této **rizikové události,** se mohou značně lišit, viz obrázek 4.2. Chyba v přípravném procesu projektu se může projevit až v době realizace projektu či v době provozu investice.

Velmi častou formální chybou rizikových analýz je členění rizika podle toho, kdy se riziková událost projeví (rizikové analýzy členící rizika na rizika přípravného procesu, výstavby a provozu). Rizika je naopak nutné členit podle rozlišovacího znaku, kdy může k rizikové události dojít, tj. kdy lze ještě zasáhnout a riziku předejít. Řešení dopadů rizik je následnou úlohou a při sestavování krizových scénářů může mít smysl disponovat přehledem rizik v **časové ose jejich možného důsledku**. Základní je však **časová osa vzniku rizik**.

Příkladem mohou být **geologická rizika**. Tato rizika vznikají v době zadávání geologických průzkumů, v době jejich provádění a v době volby klíčových technických řešení. Přesto se objevují tato rizika v přehledu rizik fáze výstavby, kdy se už řeší jen případná úloha monitoringu reálných geologických poměrů (například při výstavbě tunelů). Právě monitoring reálných geologických poměrů je jedním z výstupů zpracované rizikové analýzy, je to nástroj minimalizace případných dopadů. Rizika je však nutné rozpoznat mnohem dříve a také je nezbytné se na ně mnohem dříve připravit.

V případě PPP projektu je většina rizik soustředěna ještě do doby vytváření manažerské organizace, do doby rozhodování o podobě PPP projektu, do doby technické, finanční a právní přípravy PPP modelu, do doby obchodní přípravy projektu (tj. do doby výběrového řízení). Jde o to, aby pro zadavatele i zpracovatele bylo zřejmé a přehledné, kdy se mají konkrétnímu riziku s potřebnou péčí věnovat. Jde také o to, že má smysl vrátit se k některým rizikům, která mohla nastat ještě před nástupem poradců, tj. těm, která jsou zakódována v samotné podstatě projektu, jeho definici, specifikaci jeho cílů, volbě výchozí strategie jeho realizace apod.



Obr.4.2 – vlastní: Doba vzniku a dopad rizik

4.2.3 Registr rizik

Posloupnost zpracování registru rizik je následující:

- **identifikace příležitostí a hrozeb** projektu
- vymezení základních **kategorií** rizik
- **definice** rizika
- **popis** rizika
- určení **typu** rizika
- **vazba** rizika na jiná rizika, jeho podmíněnost
- určení **nositele** rizika
- vyhodnocení **pravděpodobnosti**
- analýza možných **dopadů**
- **stav** analýzy rizika
- vyhodnocení **možností řízení** rizika
- určení **nositele řízení** rizika
- **stav** přijatých opatření v oblasti řízení rizika

Následuje stručný rozbor podstaty a povahy jednotlivých **kategorií a skupin rizik** ve výše uvedeném pořadí.

4.2.4 Kategorie rizik

Podrobnou analýzu rizik na úrovni studie proveditelnosti koncesního projektu začíná jejich kategorizací.

V analýze rizik se standardně setkáváme s těmito třemi*„mega“* kategorie rizik:

- rizika přípravné fáze
- rizika fáze výstavby
- provozní rizika

Pro podrobnější představu o procesu přípravy a realizace projektu je možnépřistoupit k podrobnější a strukturovanější kategorizaci rizik. Zde je uveden příklad z praxe PPP projektu v oblasti dopravní infrastruktury:

- **rizika projektového managementu** tj. rizika zadavatele, manažera projektu, manažerského/projektového týmu, procesu řízení přípravy a realizace projektu, projektové komunikace apod.

- **rizika účelnosti investice**: investorská či podnikatelská rizika tj. rizika dopravní **poptávky**, rizika **nabídky**, rizika vztahu dopravní poptávky a nabídky (zůstatkové kapacity a vytížení), rizika obchodní politiky projektu (tarifní politiky), rizika systému výběru poplatků (například u pozemních komunikací rizika modelu zpoplatnění a technologie mýtného), rizika **výnosů**, rizika uživatelů aj.
- rizika fáze **obchodní a právní přípravy PPP projektu**
- rizika **projektové dokumentace projektu**: rizika projektové dokumentace a průzkumů, technická a technologická rizika
- rizika **správní přípravy projektu**
- rizika **výkupu pozemků** a přípravy staveniště
- rizika **financování projektu** a rizika projektového cash flow
- rizika **převzetí** u projektů, kde se přebírá existující infrastruktura
- rizika **výstavby** a instalace technologie
- rizika **provozu**
- rizika **technické správy a údržby**
- rizika **investic životního cyklu**
- rizika **zpětného předání**
- obecná **ekonomická** a **finanční** rizika projektu
- Obecná **legislativní** a **právní** rizika projektu
- obecná **politická** a **sociálně – ekonomická** rizika projektu
- rizika **vyšší moci**

Jednotlivé kategorie, skupiny a dílčí rizika v rámci těchto skupin jsou popsány dále.

4.2.4.1 Podnikatelská rizika (rizika poptávky)

Podnikatelská rizika projektu mají **vliv na čistou současnou hodnotu** (NPV) investice. Kalkulovaná hodnota NPV slouží jako **podklad pro investiční rozhodování**, proto významná odchylka konečné hodnoty NPV má dopad na **zpětné hodnocení úspěšnosti nebo neúspěšnosti podniknuté investice**.
V rámci prostoru, který poskytuje průběžná obchodní činnost operátora investice, lze částečně podnikatelská rizika řídit. Lze především reagovat na změnu poptávky či změnu konkurenčního prostředí. Podnikatelské prostředí je natolik virtuální, že může nastat i opak – tj. neočekávaný nárůst poptávky, který však není investice schopna kapacitně uspokojit. Reakce na takové situace jsou střednědobé povahy, proto výkonová nedostatečnost může být klientelou vnímána negativně a to může mít dlouhodobé dopady, byť z krátkodobého hlediska znamená investice podnikatelský úspěch.

Poznámka:

Investiční záměr zkoumaný v této práci vychází z předpokladu, že poptávka po nově postavené dálnici existuje, že je dostatečně objemná a dlouhodobě stabilní na to, aby pokryla výdaje na její výstavbu a provoz. Tento předpoklad vychází z marketingové studie, jejímž předmětem je průzkum, specifikace a kvantifikace takové poptávky a průmět vývoje poptávky v čase. Ve své podstatě se jedná o zvratový bod celého podnikatelského záměru. Nesprávné odhady a prognózy mají přímý vliv na výnosovou stranu projektu.

Řešením je kvalitní marketingový průzkum podrobený oponentnímu řízení jiných profesně relevantních agentur a odborníků. Marketingová studie vychází ze zmapování aktuálního konkurenčního prostředí a prognózy dalšího vývoje tohoto prostředí. Projekt mohou poškodit nebo ohrozit nečekané odchylky od očekávaného stavu či vývoje konkurenčního prostředí. Pro podnikatelské prostředí je krajně nevýhodné vyhrocení konkurenčních vztahů na saturovaném trhu, které vede k dramatickému poklesu intenzity dopravy a výnosovým ztrátám.

4.2.4.2 Rizika investiční přípravy projektu

Technická rizika nebývají pro investice riziky fatálního charakteru, přesto bývají **velkým zdrojem nehospodárnosti a komplikací v průběhu realizace**. Na to, jaký rozsah mohou mít dopady těchto rizik, je jim věnována v celku malá pozornost s vysvětlením, že je to navýsost odborná záležitost techniků a inženýrů, vyhraněných specialistů pro jednotlivé obory. Na druhé straně je však nutné vzít v úvahu, že důsledky rizik v převážné míře nesou investoři, neboť to co odpovídá technickým normám, ať je to nekvalitní a nerentabilní, nelze právně napadnout.

Soukromí investoři již umějí velmi účinně a efektivně s těmito riziky zacházet a to tak, že úlohu vypořádat se s nimi přenechávají specializovaným odborníkům. Základem je **podrobný audit zpracované projektové dokumentace**, který přenechávají **specializovaným a nezávislým technickým poradcům**, kteří jsou dostatečně motivováni k tomu, aby nacházeli nesrovnalosti, nerentabilnosti a mnohdy i chyby v technických řešeních. Následuje **nezávislý odborný dozor** při obchodní přípravě projektu a při jeho realizaci, při přebírání součástí stavby i stavby jako celku.

Leckdy je dokončená projektová dokumentace obsahující řadu chyb a předkládající řešení často až o 30 – 50 % dražší než je nezbytně nutné, nekriticky přebírána jako hotový, profesionální názor odborníků, jež je možné prakticky okamžitě uvést do života. Rozpočtové mechanismy veřejného sektoru samozřejmě takový postup podporují tím, že umožňují předanou dokumentaci bezprostředně zaplatit, aniž by naopak poskytovali prostředky k nezávislým auditům této dokumentace s cílem vícekolového managementu hodnoty a ceny.

Poznámka

Investoři zpravidla nebývají stoprocentně profesionálně vybaveni k tomu, aby hodnotili práci projektantů a hlavně, pokud se sami dopustí nějaké chyby, přenesou všechna rizika na svého zaměstnavatele. Proto je prozíravé přenést související rizika na nezávislého poradce, který svou smlouvou garantuje bezchybnost řešení projektanta. Je tak motivován řešit případný spor s projektantem a také hledat náhradní řešení v případě nějakých nedostatků. Investor je pojištěn konáním nezávislého poradce a podnikatelskou pojistkou tohoto poradce.

Projektanti rádi opomíjejí provozně – technická hlediska svých návrhů. Protože náklady provozních fází projektů několikanásobně překračují původní investiční náklady, je to opominutí velmi nebezpečné a nežádoucí. Z uvedeného důvodu je nutné soustředit se v auditu projektové dokumentace i na toto hledisko. Navíc kvalitu provozně – technického řešení v projektové dokumentaci je nutné podchytit ve smlouvě s projektantem. Rizika technických podmínek stavby jsou standardně přenášena na projektanty, např., geologická rizika, hydrologická rizika, rizika technických sítí v území, rizika starých ekologických zátěží a rizika archeologických nálezů.

4.2.4.3 Rizika obchodní přípravy projektu, riziko tenderu

Výběrové řízení může probíhat výrazně déle oproti původnímu harmonogramu. Důsledkem je oddálení termínu zahájení výstavby. Prodloužení může být způsobeno nesprávným načasováním, nekvalitní přípravou a nekvalitním řízením průběhu výběrového řízení, spory s uchazeči, změnami zadání v průběhu řízení a mnoha dalšími faktory. Některé důvody byly komentovány dříve, zde se bere v úvahu zejména nekvalita managementu výběrového řízení. Zadavatel také může výběrové řízení zrušit, zejména pokud jeho průběh nenaplňuje jeho očekávání a potřeby. V současné době je možnost zrušení výběrového řízení ze strany zadavatele značně omezena. Pokud k němu dojde v rozporu s platnými pravidly, může takové rozhodnutí vést ke značným ekonomickým a politickým komplikacím. Pokud k tomu dojde v souladu s platnými pravidly, bude nutné zahájit výběrové řízení znovu podle jiných pravidel se všemi důsledky časových a ekonomických ztrát. Dopad finanční krize může způsobit, že výběrové řízení PPP, navržená metoda výběru a stanovené kvalifikační předpoklady sníží reálný zájem uchazečů, nebo dokonce žadný zájem nebude.

4.2.4.4 Rizika realizace stavby

Jak ukazuje současný stav výstavby dálnic, existuje vysoké riziko toho, že stavba nebude realizována v potřebné kvalitě pro nedodržení technologie výstavby či použitím nekvalitních stavebních materiálů, nasazením nesprávné stavební techniky či nekvalifikovaných stavebních dělníků. Nedodržení závazných technologických postupů může vést k následnému poškození či rychlejšímu opotřebení vozovky a dalších stavebních konstrukcí. Mnohé vady díla jsou kvůli charakteru stavby skryté a objeví se až po řadě let. Jedinou ochranou je kvalitní a důsledná průběžná technická supervize výstavby. Velmi častým důvodem nekvality je také nutnost na konci stavebních prací dohnat skluz a snaha předat stavbu do užívání podle původního plánu. Z různých dalších důvodů může dojit k prodloužení doby výstavby. K prodloužení doby výstavby může dojít z objektivních i ze subjektivních důvodů. Hlavním objektivním důvodem může být nepřízeň počasí či nečekané komplikace v oblasti geologického, archeologického nebo ekologického kontextu či nečekané komplikace v oblasti technických sítí území, majetkoprávní komplikace ap.

Subjektivní příčiny souvisí zejména s nekvalitním plánováním (nereálným harmonogramem například) a managementem stavebních prací, problémy se skládkami zeminy, stavebními dvory, či technologické problémy, problémy se zaměstnanci, subdodavateli, finanční problémy, problémy s

občanskými iniciativami a veřejností. Hlavním rizikem doby výstavby je riziko zvýšení nákladů výstavby. Vývoj cen materiálů je v krátkodobém čase vcelku předvídatelný, nicméně výrazné neočekávané výkyvy v obou směrech nelze v žádném případě definitivně eliminovat. Do této oblasti patří i jednotkové ceny energií, mzdy, inflační, daňové a měnové vlivy apod.

4.2.4.5 Provozní rizika, rizika technické správy a údržby, rizika investic životního cyklu

Fixní a variabilní náklady správy a údržby investice jsou jednou ze složek rozpočtů, a pokud jsou neefektivně čerpány, mohou negativně ovlivnit výdaje, které jsou vynakládány bezprostředně na údržbu. Zejména náklady energií a medií či přezaměstnanost, náklady opravy stavby ap., jsou náklady, které lze z hlediska potřeb údržby považovat za rizikové. Neméně vážným rizikem je riziko změny technologie v údržbě. Po dobu trvání projektu může dojít ke změnám či vývoji nových technologií, týkajících se jak pravidelné, tak nepravidelné údržby jednotlivých objektů dálnice. Rozpočty na údržbu mohou být nevhodně naplánovány, případně mimořádné situace mohou vést k jejich rychlejšímu vyčerpání oproti plánu. Rutinní údržba je hrazena z plánovaných ročních rozpočtů, jejich výše může být nepřiměřená reálným potřebám.

Podfinancování údržby nebo nedostatek prostředků vede ke snížení věcného plnění a kvality údržbových prací, což může mít za následek zhoršení technického stavu konstrukce stavby a zhoršení podmínek provozu.

4.2.4.6 Ekonomická a finanční, politická a sociálně-ekonomická rizika

Ekonomická, finanční, politická a sociálně-ekonomická rizika týkající se vývoje ekonomiky Ruské Federace, výrazného snížení růstu HDP, inflace, dostupnosti financí na finančním trhu, úrokových sazeb a také platební neschopnosti zadavatele jsou zohledněna v diskontní sazbě projektu, která byla posouzena v předchozí části této práce.

4.2.5 Matice rizik

Matice rizik slouží k **ohodnocení rizik z hlediska pravděpodobnosti a závažnosti**. Riziko je tím významnější, čím pravděpodobnější je jeho výskyt a čím vyšší je intenzita jeho negativního dopadu (účinek). Nejobvyklejším nástrojem k určení významnosti rizika je **analýza citlivosti,** která stanoví absolutní i relativní změny velikosti cílové veličiny v závislosti na stejných relativních změnách jednotlivých rizikových faktorů, Fotr, J.,Souček, I.[13]. Rizikové faktory, které vyvolávají největší odezvu cílové veličiny, je nutno zařadit mezi významné a věnovat jim v rizikové analýze odpovídající pozornost. Pro klíčová rizika lze pravděpodobnost jejich vzniku a intenzitu jejich dopadu odhadnout

na malou, střední či velkou. Za významná je třeba považovat ta rizika, jejichž pravděpodobnost výskytu a současně intenzita vlivu bude odhadnuta jako velká (například pomalejší či nákladnější rozvoj infrastruktury či problematická podnikatelská úspěšnost projektu). Další skupinu, které je třeba věnovat zvýšenou pozornost, představují rizika, jejichž pravděpodobnost výskytu je malá, avšak intenzita negativního dopadu je vysoká (například teroristický útok). Zkušenost přitom říká, že **v praxi má význam intenzivně se zabývat cca 10 - 20 nejvýznamnějšími riziky.** Určitým nástrojem stanovení důležitosti rizikových faktorů je **matice hodnocení rizik.** Postup spočívá v přiřazení číselného ohodnocení jednotlivým stupňům pravděpodobnosti výskytu faktorů rizika i intenzity jejich dopadu. Ohodnocení významnosti faktorů rizika se pak stanoví jako součin ohodnocení pravděpodobnosti výskytu a intenzity dopadu . Důležitá je volba číselné škály pro oba parametry tak, aby poskytovaly objektivní obraz o významu rizikového faktoru pro projekt. Prozkoumaná literatura [13], [19], která se zabývá touto problematikou, nedoporučuje používat lineární stupnice pro oba parametry, protože dochází ke zkreslení úsudku o relevanci rizikového faktoru. Řešením je kombinace lineární stupnice pro pravděpodobnost výskytu a nelineární stupnice pro intenzitu dopadu. Výsledky fáze identifikace a hodnocení významnosti rizik se písemně dokumentují do **registru rizik** jako vstup do fáze **managementu rizik.**

4.3 Metody ocenění rizik PPP projektů

Běžné se v praxi používají kvalitativní, kvantitativní či semi-kvantitativní metody hodnocení rizik projektu. Kvalitativní hodnocení rizik představuje verbální hodnocení, kde výsledné riziko je hodnoceno jako: **nevýznamné**, **málo významné**, **průměrné**, **významné a velmi významné.** Kvantitativní metody jsou zaměřeny na finanční vyčíslení dopadů na objekt nebo proces při realizaci nějakého rizika. Jejich výstupem je odhad ztrát, které mohou ohrozit projekt. Při této analýze získáme řadu hodnot odhadujících pravděpodobnou výši ztrát.

Při použití kvantitativních metod můžeme využit dvou typů přístupů k rizikům. Prvním z nich jsou empirické odhady, které vycházejí z předchozích zkušeností hodnotitele. Lze namítnout, že se tím pádem nejedná o čistou kvalifikační metodu. Jedná se o prosté bodové ocenění rizik pro několik pravděpodobných scénářů, které bych nejspíš akceptovala jako metodu smíšenou (semi-kvantitativní).

Druhým typem je analytický postup, který využívá matematickou a statistickou analýzu s užitím pravděpodobnosti (nejčastěji je realizován prostřednictvím simulačních procesů, jakým je metoda Monte Carlo) a možností (pravděpodobnostního rozložení parametrů v podobě neurčitých čísel/intervalů, realizovanou pomoci aparátu teorie neurčitých množin).

Tři metody oceňování rizik, které používáme v praxi PPP projektů, jsou:

- Optimism Bias, jako nástroj analýzy rizika PPP projektů
- Bodová metoda/ Jednoduchá metoda (MFCR)

- Komplexní ocenění rizik na základě:

    - známého rozložení pravděpodobnosti navýšení nákladů a následné statistické zpracování simulačními přístupy typu Monte Carlo;
    - v případě neúplné informace o rozložení pravděpodobnosti složitého procesu je více odůvodněné představovat si nepřesné zadané parametry v podobě neurčitých množin a při práci s nimi používat aparát TNM.

4.3.1 Optimism Bias – nadměrný sklon k optimismu

Pro ohodnocení rizik je nutné zvolit vhodný nástroj, který zohlední co nejvíce možných vlivů. Ovšem velmi rozsáhlý model ukazatele rizika s desítkami proměnných je velmi nepraktický, protože je velmi citlivý na případné chyby v konstrukci modelu. Optimism Bias (OB) se dá nejjednodušeji charakterizovat jako sklon k optimismu při určování hodnoty rizika.

Pod OB se rozumí systematická tendence ke zkreslování (podhodnocení a nadhodnocení) klíčových parametrů projektu. Podhodnocovány mohou být investiční a udržovací náklady, rizika, náklady na řízení rizik, doba výstavby apod., nadhodnocovány jsou pak nejčastěji výnosy. Pokud OB bude příliš vysoký, tzn. rozdíl mezi zamýšlenými a skutečnými náklady, může být projekt vážně ohrožen. Tento scénář se může naplnit např. překročí-li odhadovaná rizika a náklady únosnou mez.

HM Treasury vydalo v roce 2003 Zelenou knihu[12], v níž OB se dělí do 4 částí:

- kapitálové náklady – investice (Capital costs)
- doba trvání projektu (Works duration)
- provozní náklady (Operating costs)
- nedostatečné výnosy (Under delivery of benefits)

Tato metoda se používá především ve Velké Británii a je založená na dlouhodobém sledování PPP projektů a jejich praktických výsledků. Využívá se znalostí statistiky určených průměrných překročení nákladů v nedávno realizovaných projektech obdobného charakteru oproti původně projektovaným hodnotám. Svým způsobem představuje pozorovanou tendenci veřejného zadavatele podceňovat projektové výdaje a přeceňovat projektové příjmy.

Optimism Bias je poměrně jednoduchá konstrukce, která vychází z hodnot předchozích projektů, tedy statisticky zpracovaných hodnot překročení kapitálových a provozních nákladů a doby realizace. Proto, aby mohl být ukazatel OB použit, je nezbytné disponovat odpovídajícími daty, standardizovanými a srovnatelnými. Vzhledem ke své jednoduchosti a obecnosti je používána zejména

[12] HM Treasury,*Green Book: Appraisal and Evaluation in Central Government.* London, 2003

ve fázi projektování, kdy ještě nejsou určeny přesné hodnoty jednotlivých rizik souvisejících s projektem.
Ocenění rizika se v této metodě stanovuje jako součin příslušné referenční položky (např. provozních nákladů) a příslušné hodnoty nadměrného sklonu k optimismu.

4.3.2 Bodová metoda / jednoduchá metoda

Riziko je jakákoliv nejistá událost, která může mít negativní dopad na cíle projektu, jeho časový harmonogram, náklady, kvalitu či přínosy. Cílem této metody je identifikace a přijetí opatření zaměřených na řešení rizik. Pokud se rizika vyskytnou, může mít jejich dopad formu jednoho z následujících prvků nebo jejich kombinace:

- nákladový prvek (při výskytu rizika má dopad podobu vyšších nákladů)
- časový prvek (při výskytu rizika má dopad podobu prodlení)
- kvalita (při výskytu rizika má dopad podobu špatné kvality)
- výnosy (při výskytu rizika má dopad podobu ztráty výnosů)

Při stanovení finančního dopadu rizika na projekt je třeba vzít v úvahu tyto faktory:

- **efekt** – jakým způsobem riziko ovlivní projekt - pokud nastane
- **časování** – ve kterých letech projektu hrozí výskyt daného rizika
- **typ** – např. riziko poptávky po dané službě, riziko spojené s náklady projektu apod.
- **závažnost rizika** – v jaké míře riziko může ovlivnit projekt.

Postup hodnocení

Definice vyměřovacího základu

Nejdříve je nutné zvolit metodu, kterou budeme hodnotit rizika; zda na základě nákladů nebo na základě příjmů projektu. Vznik rizika a jeho pravděpodobnost jsou udávány v procentech. Aktualizace vyměřovacího základu (např. nárůst stavebních nákladů) bude podmíněna automatickou změnou při výpočtu hodnoty rizika.
Komentář:
Při stanovení vyměřovacího základu rizika existuje systematická tendence zkreslení klíčových parametrů. Pod zkreslením se rozumí podhodnocení nebo nadhodnocení nákladů a příjmů projektu.

Mezi hlavními složkami vyměřovacího základu, jak bylo řečeno dříve, mohou být:

- kapitálové náklady
- provozní náklady a předpokládané příjmy z projektu
- doba trvání projektu.

Hodnota očekávaného dopadu

Ze všech techto hodnot očekávaného dopadu vypočteme součin s pravděpodobností pro všechny konkrétní scénáře dopadu tak, aby součet všech těchto pravděpodobností se rovnal 1 (100%).

Určení nákladů na riziko

Dále, součtem všech obdržených hodnot získáme celkovou hodnotu očekávaného dopadu vyjádřenou v peněžních jednotkách. Když všechny tyto součiny jsou sečteny a získali jsme výsledné ocenění daného rizika. Tento postup musí být opakován pro všechna identifikovatelná rizika projektu. Z matematického pohledu se jedná o vážené průměry dopadů jednotlivých scénářů, kde vahou je pravděpodobnost, že daný scénář nastane.

Příklad kalkulace očekávané ztráty je uveden v následující tabulce.

Tab.4.1 Výpočet hodnoty rizika překročení rozpočtových výdajů na stavbu trasy

Název rizika	Základna rizika, mln. rub	Scénáře 1 až 4	Dopad v %	Dopad v mln. rub	Pravděpo-dobnost scénaře (%)	Očekávaný dopad v mln. rub
Překročení rozpočtových výdajů na stavbu trasy (1.řada výstavby)	9 115	Beze změny	0	0	5	0
		Malé navýšení nákladů	20	1823	25	455,75
		Střední navýšení nákladů	55	5013,25	50	2506,6
		Velké navýšení nákladů	90	8203,5	20	1640,7
Hodnota rizika překročení rozpočtových výdajů na stavbu = $\sum_{n=1}^{4} D_n * P_n$						4 603

Zdroj: tabulka vlastní

V tabulce jsou uvedeny čtyři možné a předpokládané scénáře vývoje rozpočtových výdajů na výstavbu dálnice. Definovaný vyměřovací základ je třeba násobit dopadem vyjádřeným jako % pro každý scénář (beze změny, malé, střední a velké navýšení nákladů). Takovým způsobem získáme dopad měřený v peněžních jednotkách, opět beze změny, malé, střední a velké navýšení nákladů. Ke každému scénáři je přiřazena pravděpodobnost, že tento scénář nastane. Celkový součet pravděpodobností scénářů je 100%. V našem příkladu je nejpravděpodobnější scénář – střední navýšení nákladů = 50%. Dále je v tabulce uveden sloupec, který vyčísluje odhadované náklady vzniklého rizika, pokud určitý scénář nastane. Součinem dopadu a pravděpodobnosti každého scénáře a následně součtem všech těchto hodnot se získá deterministická hodnota rizika vyjádřená formou očekávané ztráty.

Deterministická hodnota odhadovaného rizika = 9 115 * 0 *0,05 + 9 115 * 0,2 * 0,25 + 9 115 * 0,55 * 0,5 + 9 115 * 0,9 * 0,2 = 4 603

Při kvantifikaci dopadu a pravděpododobnosti existuje významná míra subjektivity. Proto je důležité, aby toto subjektivní hodnocení pocházelo od specialistů majících zkušenosti a znalosti v oblasti dopadu určitého rizika na náklady/výnosy vztahujíci se k úrčitému projektu.

Časová perioda

Pro další využití výsledků ocenění rizika je nutné určit roky, během nichž riziko může vzniknout. Jednotlivá rizika obvykle vznikají v určitých fázích projektu (např. riziko nárůstu stavebních nákladů vzniká během fáze výstavby). Proto je nutné určit očekávanou délku jednotlivých fází projektu. Na základě této informace lze dále vypočítat čistou současnou hodnotu rizik.

Alokace rizika

Určuje se nakolik je příslušné riziko sdíleno veřejným a soukromým partnerem. Ideálně by měla být alokace specifikována dvakrát: jednou při tradičním zadávaní veřejných zakázek a podruhé při očekávané alokace rizika v rámci partnerství. Takovým způsobem lze dodatečně vypočítat přenosnou hodnotu rizika. Výstupem této části analýzy je rozdělení rizik na převoditelná a zadržená. Rizika, která budou alokovaná soukromému partnerovi, jsou převoditelná. Rizika, která si ponechává zadavatel, jsou zadržená. Sdílená rizika se rozdělí mezi převoditelná a zadržená v poměru, v jakém jsou sdíleny zadavatelem a soukromým partnerem. Tímto postupem je získáno hodnocení všech jednotlivých rizik, které představuje očekávané navýšení výdajů vlivem rizik.

Závěrem bude uvedena alokace daného rizika – riziko je alokováno na stát, koncesionáře nebo je sdílené v poměru 1:1, tj. rozdělené mezí partnery. Přijatá alokace rizika: tato alokace by měla být aktualizována po jednotlivých fázích projektu a dokončena poté, co byl sjednán návrh smlouvy. Reflektuje přenos rizika, který byl finálně akceptován a podepsán soukromým partnerem.

4.3.3 Pokročilá metoda s použitím simulačních přístupu k analýze rizik PPP projektu

4.3.3.1 Určení faktorů rizika projektu – fáze identifikace

Ve skutečnosti se pokročilá metoda na začátku postupu podobá jednoduché metodě. V pokročilé metodě se určuje souhrnné rozložení hustoty pravděpodobností finančních dopadů převoditelných a zadržených rizik.

Stejně jako u jednoduché metody je princip identifikace jednotlivých rizik podobný. Avšak při pokročilé metodě by měli být rizika zkoumána pečlivěji a detailněji členěna na další dílčí rizika, aby se předešlo vzniku překrývání rizik při jejích hodnocení. Na základě detailního rozboru se pak ukáže, která rizika jsou podstatná a která mohou nést v sobě několik rizik s rozdílnými charakteristikami, což může odpovídat různým rozdělením hustot pravděpodobnosti.

Protože náklady rizik vyhodnocujeme v návazných krocích, je nutné jednotlivá rizika identifikovat tak, aby následné ocenění rizik nevedlo k celkovému nadhodnocení rizika projektu. Jsou-li důsledky nějakého rizika již podchyceny jednou, nesmí se v rámci oceňovací tabulky do rizikové analýzy promítnout opakovaně.

4.3.3.2 Stanovení významností faktorů rizika

Výsledkem určení faktorů rizik projektu, bylo stanovení všech faktorů, u kterých se předpokládá, že mohou mít vliv na výsledek investičního projektu. Může se stát, že seznam rizikových faktorů bude pro následující analýzu příliš velký. Proto bude úkolem ve druhé fázi vybrat ze všech rizikových faktoru ty, které nejvíce přispívají k celkovému riziku projektu. K rozhodnutí o významností rizika pomůže analýza citlivosti.

Testy citlivosti se provádějí na vybrané rizikové faktory, které nejvíce ovlivní výsledky projektu na určitá ekonomická kritéria projetu, např. čistá současná hodnota, IRR apod. To tedy znamená stanovit, jak určité změny těchto faktorů ovlivňují zvolené ekonomické kritérium projektu. Faktory, jejichž určité změny od nejpravděpodobnější hodnoty vyvolají jenom malou změnu zvoleného ekonomického kritéria se považují za málo důležité, citlivost zvoleného kritéria na změnu tohoto faktoru je malá. Naopak faktory, jejichž změny vyvolávají značné změny zvoleného kritéria, budou významné. K provedení této analýzy je třeba uskutečnit tolik propočtů, kolik je faktorů rizika. Provádí se několik procentních změn navýšení nebo zmenšení na testované proměnné za předpokladu nezměněných hodnot ostatních faktorů. Výsledky analýzy citlivostí ukazují, jaká rizika projektu budou považována za klíčová.

Kvantitativní analýza rizik se provádí pro nejdůležitější rizika projektu z hlediska pravděpodobnosti úrovně vzniku. V níže uvedené tabulce se uvádějí důležitá rizika projektu „Výstavba a provoz placeného dálničního okruhu kolem Moskvy“, který je v dané práci příkladem projektu realizovatelného v podobě PPP.

Pro stát je cílem kvantitativní analýzy rizik porovnání efektivity alternativních variant realizace projektu (státní zakázky a PPP). Proto by bylo účelné provést hodnocení pouze těch rizik, která jsou vlastní obou variantám. Jinými slovy, rizika koncesionáře, která neexistují v případě státní zakázky, se nemusí brát v úvahu. Devizové riziko, procentní riziko, riziko nedostatku dostatečného soukromého financování nevznikají při státní zakázce, není zapotřebí hodnotit tato rizika za účelem kvantitativní analýzy efektivity projektu pro stát.

Kromě toho je kvantitativní hodnocení provádět účelné v případě rozšířených skupin rizik. V souvislosti s tím jsou riziko inflace a rizika spojená s dodavateli a subdodavateli sloučena do rizika převýšení výdajů na výstavbu a provoz (převýšení výdajů na běžnou údržbu, generální opravu a provoz se hodnotí zvlášť). Riziko poptávky a riziko konkurence, která odrážejí riziko změny provozu, nebylo možné podle mínění znalců ohodnotit kvantitativně. Proto riziko

snížení tržby z poplatků za průjezd se kvantitativně hodnotilo jako riziko spojené se systémem výběru poplatků za průjezd.

Tab.4.2 Důležitá rizika projektu

Název rizika	**Zodpovědná strana**
Rizika geologické a hydrologické expertizy	veřejný sektor
Pozastavení (nemožnost) přidělení pozemků k výstavbě trasy a půdy v rámci přidělovacího pásma	veřejný sektor
Chyby v projektové a pracovní dokumentaci	veřejný sektor (projektová dokumentace) koncesionář (pracovní dokumentace)
Riziko nedosažení finančního uzavření koncesionářem	veřejný sektor
Nesplnění práce třetími osobami – výstavby přístupových cest a vybudování komunikací	veřejný sektor
Rizika spojená s dodavateli a subdodavateli	koncesionář
Změny devizových kursů v ekonomice	veřejný sektor / koncesionář
Změny podmínek poskytování financování (v části zapojení koncesionáře), procentní riziko	koncesionář
Intenzita provozu nebude odpovídat prognóze (riziko poptávky)	veřejný sektor
Konkurence (druh rizika poptávky)	veřejný sektor
Inflace	veřejný sektor

Zdroj: tabulka vlastní.

Takže: za účelem kvantitativní analýzy byla hodnocena následující rizika projektu uvedená v příloze č. 1 ke 4. kapitole označená číselnými kódy podle mého členění skupin rizik.

Z tabulky uvedené v příloze můžeme k **převoditelným rizikům** zařadit následující rizika:

- překročení rozpočtu nákladů na výstavbu trasy [5.1; 5.2] (1. a 2. řady výstavby),
- překročení lhůty výstavby 1. a 2. řady [6.1; 6.2],
- překročení rozpočtu nákladů na provoz trasy [7],
- riziko technické obsluhy dálnice [8.2] (překročení výdajů na generální opravu).

K **zadrženým rizikům**, která při jakékoliv formě realizace projektu (formou státní zakázky nebo formou partnerství) zůstanou na zodpovědnosti státu, patří:

- riziko komunikací (sítí) [1.1],
- riziko geologické a hydrologické expertizy [1.2],
- riziko archeologické expertizy [1.3],
- pozastavení (nemožnost) přidělení pozemků k výstavbě trasy a půdy v rámci přidělovacího pásma [2],
- riziko nedostatečné průhlednosti konkurzu [3],
- riziko chyb v projektové dokumentaci [4.1],
- chyby v projektové a pracovní dokumentaci [4.2] (riziko optimální konfigurace trasy a její spojení se síti silnic),
- specifická rizika spojená se systémem výběru poplatků [9].

Kumulovaná hodnota převoditelných rizik při tvorbě finančního modelu představuje čistou současnou hodnotu převoditelných rizik projektu **(NPV převoditelných rizik projektu)**. Kumulovaná hodnota zadržených rizik pak bude představovat **NPV zadržených rizik.**
Sestavením peněžních toků dopadů rizik v kontextu doby jeho trvání zohledňuje, kolikrát se dané riziko může objevit po celou dobu trvání pro model převoditelných a zadržených rizik. Na základě sestavených peněžních toků se dá vypočítat čistá současná hodnota převoditelných a zadržených rizik.

Pro ilustraci a pochopení výše uvedeného jsem v programu EXCEL vytvořila dvě tabulky finančního modelu čisté současné hodnoty pro zadržená a převedená rizika projektu, které se nacházejí v příloze č.3 a 4 k 5. kapitole.

4.3.3.3 Stanovení statistických charakteristik rizik investičního projektu

Předpokládáme, že jsme určili množinu těch faktorů, o nichž se domníváme, že přispívají k riziku nejvíce. Stanovení NPV rizika projektu se uskutečňuje přímo pomocí stanovení statistických charakteristik, jež pravděpodobnostní rozdělení kritéria popisují. Abychom mohli tyto charakteristiky, jimiž jsou rozptyl, střední hodnota, šikmost nebo špičatost, posoudit, je nejdříve zapotřebí stanovit (aproximovat) křivku simulovaného pravděpodobnostního rozdělení finančního dopadu NPV celkových rizik. Rozdělení hustoty pravděpodobnosti finančního dopadu je funkce, která jednotlivým finančním dopadům klíčových faktorů rizika přiřadí příslušnou hustotu pravděpodobnosti. Rozdělení hustoty pravděpodobnosti klíčových faktorů rizika je obdoba scénářů z jednoduché metody. Rozdíl ale je v tom, že se nepopisují některé scénáře, ale všechny možné scénáře, a to jednou funkci rozdělení hustoty pravděpodobnosti finančního dopadu NPV rizika.

Proto je vhodné na určené klíčové faktory rizik stanovit příslušné rozdělení jejich pravděpodobnosti, které mají u diskrétních faktorů (u faktorů s několika málo hodnotami) tabulkový tvar, u spojitých rizikových faktorů se obvykle volí určitý typ rozdělení a zadávají se jeho parametry. Parametry rozdělení pravděpodobnosti se určují přímo nebo je lze procentuálně vztáhnout k logicky související referenční hodnotě, např., stanovit horní a dolní meze rozdělení a také jeho nejpravděpodobnější hodnotu. V případě spojitých faktorů rizika se obvykle vychází z předpokladu, že jejich nejistotu lze zobrazit některým teoretickým rozdělením, jakými jsou např. rovnoměrné, beta rozdělení, trojúhelníkové rozdělení.

Při konkrétní specifikaci jednotlivých rozdělení vycházíme jednak z historických dat anebo, pokud tato data nejsou dostupná, z kvalifikovaného odhadu. Vzhledem k tomu, že výsledky simulace jsou přímo závislé na tom, z jakého rozdělení jsou jednotlivé hodnoty generovány, je zřejmé, že je nevyhnutelné věnovat důležitou část provedení rizikové analýzy na stanovení jejich rozdělení. Při stanovení rozdělení pravděpodobnosti je možné postupovat dvěma způsoby - objektivně a subjektivně.

Objektivní stanovení pravděpodobnostního rozdělení

Objektivní stanovení vhodného rozdělení pravděpodobnosti použijeme v případě, že máme k dispozici dostatek historických dat. Tento způsob spočívá v testování dat na shodu s některými známými rozděleními. Existuje několik způsobů, jakými tento test provést, Hnilica, Fotr [19].

Chi-Square test porovnává jednotlivé očekávané frekvence se skutečně pozorovanými frekvencemi ze vzorku dat, které máme k dispozici. Následně se pak vypočtená statistika porovnává s kritickými hodnotami chi-kvadrát rozdělení a rozhoduje o zamítnutí nulové hypotézy shodnosti obou frekvencí. Výhodou používání tohoto testu je, že ho je možné použít jak na diskrétní tak i na spojité proměnné. Tento test má ale citlivost na velikost jednotlivých intervalů a je zapotřebí dostatečně velkého počtů pozorováni.

Výhodou **Kolmogorov-Smirnov testu (K-S test)** je to, že velikost testovací statistiky není závislá na tom, vůči jakému rozdělení testujeme shodu. Nevýhodou je pak to, že tento test můžeme aplikovat pouze na spojitá rozdělení.

Andersenův-Darlingův test představuje modifikaci **K-S** testu a testuje shodu s přesně specifikovaným rozdělením. Tento test je citlivější než K-S test, avšak vyžaduje kalkulování kritických hodnot ke každému případu zvlášť.

Subjektivní stanovení pravděpodobnostního rozdělení

Subjektivní stanovení pravděpodobnosti je založeno na předpokladu, že expert nebo manažer má určitou jistotu týkající se výskytu nějakého jevu, který se přepokládá za významný. Svým způsobem je subjektivní pravděpodobnost vyjádřením míry osobního přesvědčení o výskytu určitého jevu nebo události. Její stanovení vychází ze znalosti problému, předchozí zkušenosti, intuice rozhodujícího subjektu a také z různých vnějších zdrojů informací. Tento způsob se používá v případě, kdy nemáme

historická data k dispozici, což je v případě hodnocení PPP projektů poměrně často. Nejvíce používaný způsob při stanovení subjektivního pravděpodobnostního rozdělení rizikových faktorů je odborné posouzení a expertní odhad.
I když tento způsob je velice často používán, není tak adekvátní jako objektivní způsob založený na testování dat na shodu rozdělení.
Předmětem práce není to, jakým způsobem se stanoví pravděpodobnostní rozdělení, ale to, jak využití určitého rozdělení může ovlivnit konečný výsledek hodnocení rizika.

4.3.3.4 Postup simulace metodou Monte Carlo

Monte Carlo metody jsou nejužívanějšími numerickými metodami, které se v aplikované ekonomii používají. Základem těchto simulací je generování náhodných nebo pseudonáhodných čísel. Cílem simulace je popsat pravděpodobnostní rozdělení kritérií NPV převoditelných a zadržených rizik projektu tak, aby se mohly prozkoumat jednotlivé charakteristiky těchto kritérií a tak posoudit rizikovost daného projektu ve vazbě na jeho kritéria efektivnosti. Rizikových faktorů, které budou mít vliv na výslednou hodnotu kritérií efektivnosti je relativně velký počet. Hodnoty, které mohou jednotlivé faktory nabývat jako spojité proměnné, se používají ke generování čísel z jednotlivých pravděpodobnostních rozdělení. V podstatě se jedná o generování velkého množství alternativních scénářů. Takto vygenerované scénáře jsou pak vstupem pro výpočet konkrétní hodnoty, což je v našem případě NPV převedených a zadržených rizik projektu. Když tento postup zopakujeme mnohokrát pro různé scénáře, získáme empirické pravděpodobnostní rozdělení NPV zadržených a převoditelných rizik projektu, z něhož je pak možné odvodit všechny charakteristiky rizika daného projektu, jimiž jsou standardní odchylka, rozptyl, variační koeficient, šikmost a špičatost.
K tomu, aby mohl software vypočítat celkový vliv rizik na projekt, je třeba sestavit finanční model dopadu rizik, tzn. provést několik následujících kroků:

1) Výběr kritéria hodnocení a stanovení způsobu výpočtu tohoto kritéria, jako funkce rizikových proměnných. V našem případě se jedná o NPV zadržených a převedených rizik, které jsou součtem diskontovaných hodnot klíčových zadržených a převedených rizik projektu.
2) Výběr klíčových faktorů rizika. Zde jde o stanovení těch faktorů, u nichž budeme pravděpodobnostní rozdělení modelovat explicitně, to znamená, že budeme muset zvolit konkrétní rozdělení pravděpodobnosti pro každý klíčový rizikový faktor, z něhož pak budeme náhodně generovat jednotlivé hodnoty.
3) Rozdělení rizikových faktorů do skupin na převoditelná a zadržená, jejichž celkový vliv budeme zkoumat.
4) Nastavení časování jednotlivých rizik formou sestavení peněžních toků z dopadů těchto rizik zvlášť pro rizika zadržená a převoditelná.

5) Nastavit výpočet současné hodnoty dopadů rizik rozdělených do skupin.

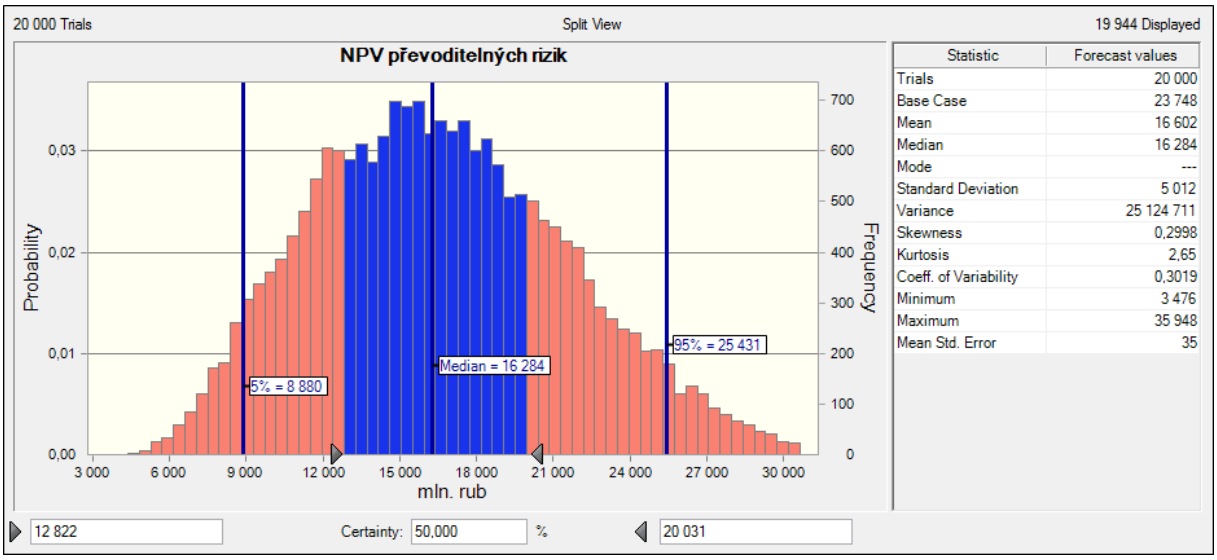
Výstupem simulace Monte Carlo budou grafy a statistické parametry současných hodnot finančních dopadů NPV skupin rizik projektu (převoditelných a zadržených).

4.3.3.5 Analytické výsledky simulace

Zatímco jednoduchá metoda nabízí očekávanou hodnotu rizik tj. očekávanou hodnotu částky, kterou bude nutno vynaložit nad rámec původní projekce výdajů, pokročilá metoda nabízí **nástroj** k rozsáhlejší analýze a podle konkrétního použití může konkrétně odpovědět na další otázky:

1. Jaké budou v nejhorším/nejlepším případě dodatečné výdaje způsobené riziky?
2. Jsou pravděpodobnější spíše vyšší nebo nižší výdaje spojené s riziky než průměrné?
3. V jakém rozsahu se budou pohybovat celkové výdaje na rizika, popřípadě na určité skupiny rizik?

Svým způsobem pokročilá metoda zahrnuje všechny možné modely předvídatelné scénářem a je pouze otázkou interpretace, které výsledky chce zadavatel zkoumat. Z rozložení pravděpodobností současných hodnot skupin finančních dopadů rizik lze vyčíst mnoho údajů o celkových rizicích, tj. očekávanou i nejpravděpodobnější hodnotu finančního dopadu, průměr, medián, velikost rozmezí rizik, pravděpodobnost, s jakou celkové náklady na rizika nepřesáhnou/přesáhnou zvolenou hodnotu zkoumání. Po dostatečně velkém počtu simulačních kroků dostaneme základní výsledky simulace jednak v **grafické podobě,** tj. graf rozdělení pravděpodobnosti čisté současné hodnoty rizik zadržených a převoditelných, jednak v **číselné podobě.** Příklad výsledků simulace v grafické a číselné podobě představen v níže uvedenem obrázku 4.3.



Statistic	Forecast values
Trials	20 000
Base Case	23 748
Mean	16 602
Median	16 284
Mode	---
Standard Deviation	5 012
Variance	25 124 711
Skewness	0,2998
Kurtosis	2,65
Coeff. of Variability	0,3019
Minimum	3 476
Maximum	35 948
Mean Std. Error	35

Obr. 4.3 – vlastní: Výsledky simulace čisté současné hodnoty převoditelných rizik projektu

Po provedení simulace se vypočtené hodnoty objeví jako standardní graf v okně „Předpovědí“, který je grafem frekvence (známý také jako histogram). Tento histogram ukazuje, kolikrát bylo v průběhu simulace (počet pokusů) dosaženo konkrétní hodnoty NPV. Osa X (reprezentující v tomto případě hodnotu NPV) má určitý rozsah od minimálních až po maximální hodnoty. Tento rozsah je rozdělen po stejných intervalech. Výška každého sloupce ukazuje kolik simulačních pokusů bude mít za výsledek dosažení určité hodnoty. Na základě přezkoumání (výpočtu) pravděpodobnosti každé jednotlivé hodnoty se generuje graf, v našem případě graf hustoty pravděpodobnosti (Frequency View). Tento graf následně slouží jako nástroj k přezkoumání míry jistoty dosažení nějaké konkrétní hodnoty. Obecně existuje několik typů zobrazení grafu rozdělení pravděpodobnosti zvolené proměnné, a to:

- Hustota pravděpodobnosti (frequency) – viz výše
- Distribuční funkce (Cumulative frequency)
- Reverzní distribuční funkce (Reverse cumulative frequence)

Distribuční funkce ukazuje frekvenci, s jakou simulační pokusy dosáhly zkoumané hodnoty nebo hodnoty nižší.

Z tvaru rozdělení lze vyčíst, je-li pravděpodobnější spíše vyšší hodnota rizik než nižší (šikmost rozdělení), nebo bude-li průměrný dopad rizik náhodou méně pravděpodobný, což u jednoduché metody ocenění rizik nebylo možné zjistit. Za ocenění celkových hodnot zadržených a převoditelných rizik lze považovat střední hodnoty těchto rozdělení, které představují průměrnou současnou hodnotu navýšení výdajů na projekt.

Určitou vypovídací hodnotu mají hodnoty 5. a 95. percentilu. Pátý percentil je hodnotou finančního dopadu, pro kterou platí, že v 95% případů vyšla v simulaci současná hodnota rizik vyšší (tzn. pouze 5% případů bylo nižších). Obdobně pro hodnotu 95. percentilu pak je, že v 95% případů vyšla v simulaci současná hodnota rizik nižší.

Proto lze hodnotu pátého percentilu považovat za ocenění rizik při nejpříznivějším stavu okolností (dolní limit pro současnou hodnotu dopadů rizik). Hodnotu 95.percentilu pak lze považovat za ocenění rizik při nejnepříznivějším stavu okolností (horní limit pro současnou hodnotu dopadů rizik). Rozdíl těchto hodnot představuje rozsah, ve kterém se podle simulace nachází 90% současných hodnot dopadů rizik. Předpokládá se, že skutečná současná hodnota rizik bude v tomto intervalu. To je obdobné i s 1. a 99. percentilem.

Dalším základním výstupem simulace jsou kromě grafu rozdělení pravděpodobnosti objektů simulace také statistické charakteristiky těchto rozdělení. Charakteristiky rizika jsou: střední hodnota, směrodatná odchylka, rozptyl, a variační koeficient.

4.3.3.6 Úprava modelů VZ a PPP o výsledné hodnoty zadržených a převoditelných rizik

Po výsledném ocenění převoditelných a zadržených rizik metodou Monte Carlo a podle výše uvedeného vzorce (3.2) můžeme určit celkové ukazatele NPV_{RE} VZ (veřejné zakázky) a NPV_{RE} PPP následujícím způsobem, metodika hodnocení [7]:

NPV_{RE} VZ = NPV přímých rozpočtových efektů + NPV převoditelných rizik + NPV zadržených rizik (4.1)

Tento ukazatel ukáže komplexní nákladovost projektu za celou dobu jeho životnosti ve formě čisté současné hodnoty, také ukáže finanční dostupnost projektu pořizovaného tradiční cestou za využití zdrojů veřejného sektoru.

V modelu PPP je situace odlišná. Současná hodnota zadržených rizik se přičte k výsledku modelu PPP stejně jako u modelu VZ, aby se tak pro zadavatele reálněji zobrazila pravděpodobná cena projektu. Převoditelná rizika se však do modelu PPP nezahrnují. Je zřejmé, že výdaje soukromého partnera s řízením převoditelných rizik budou zahrnuty do výše požadavku platby za dostupnost.

Při stanovení výsledné hodnoty NPV PPP přičteme k hodnotě NPV PPP bez uvažování rizik současnou hodnotu zadržených rizik určenou dle níže uvedeného vzorce:

NPV_{RE} PPP = NPV transakcí mezí zadavatelem a soukromým partnerem + NPV zadržených rizik (4.2)

Stejně jako model VZ musí i model PPP potvrdit finanční dostupnost PPP způsobu pořízení.

Ukazatel NPV_{RE} VZ se následně využije v rámci posouzení hodnoty za peníze při porovnání s hodnotou NPV_{RE} PPP, který vyjádří komplexní nákladovost projektu za celou dobu jeho životnosti v případě realizace formou PPP a který také ukáže odhadovanou hodnotu při výběru hypoteticky nejlepší nabídky při porovnání se skutečnými nabídkami od soukromých zájemců.

4.3.4 Pokročilá metoda s použitím fuzzy matematiky a fuzzy logiky v analýze rizik PPP projektů

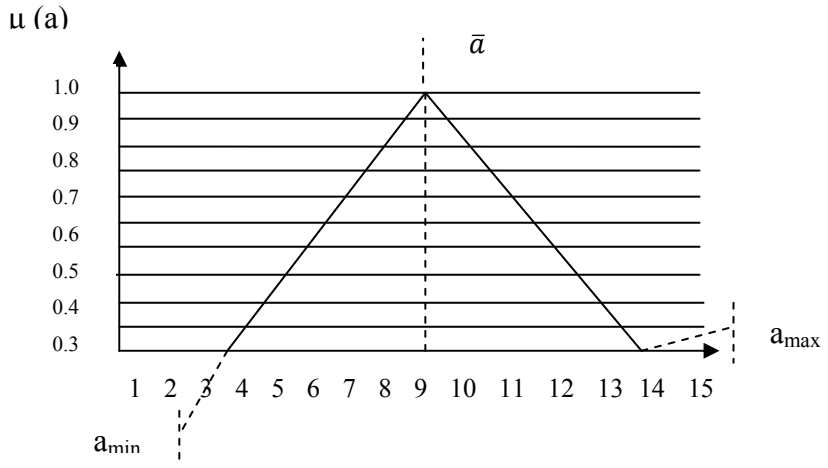
4.3.4.1 Úvod do problematiky teorie neurčitých množin

Matematická teorie neurčitých množin (fuzzy sets) a neurčitá logika (fuzzy logic) jsou zobecněním klasické teorie množin a klasické formální logiky. Tyto pojmy byly poprvé navrženy americkým vědcem Lotfi Zadehem v roce 1965. Hlavním důvodem vzniku nové teorie se stala existence neurčitých procesů, systémů, objektů a úvahy o nich spolu s pokusem tyto popsat.

Od vzniku teorie neurčitých množin uplynulo nikolik desetiletí než přístup k modelování složitých systémů získal uznání v celém světě.

Hlavním úkolem při rozpracování ekonomicko-matematického modelu rizik investičního projektu (IP), s jehož pomocí se hodnotí dlouhodobý IP, je formalizace očekávaného čistého peněžního toku možné ztráty generovaného IP za určité časové období. Součet všech

předpokládaných rizik investičního projektu vyjádřený čistými peněžními toky umožňuje určit celkový rozsah rizika projektu za určité období. Různé složky peněžních toků rizik nemohou být naplánovány úplně přesně, protože neexistuje jistota ohledně budoucího vývoje výdajů a příjmů z projektu, zejména rozdílnost s jeho plánovanými výdaji. Pro popis vstupních proměnných rizikových faktorů neurčitostmi různého druhu je jejich popis uskutečněn pomocí neurčitých intervalů (čísel). Pro potvrzení hypotézy o zákoně rozdělení proměnných rizikových faktorů je zapotřebí velký rozsah informace (statistika), která musí vyhovovat speciálním požadavkům. Je zjevné, že každý IP je unikátní a neexistuje možnost opakování stejného investičního projektu ve stejném ekonomickém, politickém prostředí za stejných okolností. Podle mínění autora Diligenského [6] je použití TNM více opodstatněné, protože většina informací má podobu znaleckých posudků a pouze nepatrná část parametrů IP může mít stochastickou povahu (například, počasí a klimatické podmínky uskutečnění IP, poruchy hromadně používaného zařízení). Kromě toho musíme mít na pamětí, že pro IP jsou typické různé druhy neurčitosti, které se mohou formalizovat a zpracovat na základě TNM. V souladu s komplexním přístupem a účelem tohoto výzkumu jsou v této práci zpracovány metody získání velmi důležitého ukazatele integrované hodnoty rizik projektu PPP v neurčité podobě. Když se všechny parametry faktorů rizik formalizují v podobě neurčitých čísel (intervalů) například, $\widetilde{A}_i = (a_i, \alpha_i \beta_i)$, která říkají, že „parametr A_i se přibližně rovná a_i a jednoznačně se nachází v diapazonu $[a_i - \alpha_i , a_i, + \beta_i]$ “. Pokud určený parametr rizika A_i byl určen přesně, pak se neurčité číslo $\widetilde{A}_i$ převádí se na reálné číslo, kde $\alpha = \beta = 0$. Pokud jsou parametry možné škody v důsledku vzniku rizikových faktorů vágní, tj. jejich přesný prognózní význam není znám, pak je vhodné použít jako vstupní údaje trojúhelníková neurčitá čísla s funkcí příslušnosti $\mu(a)$ následujícího tvaru - viz níže uvedený obrázek. Tato čísla znamenají výrok: „parametr A se přibližně rovná $\bar{a}$, a jednoznačně se nachází v diapazonu $[a_{min}, a_{max}]$“.



Obr. 4.4 – vlastní: Neurčitý interval neurčitého parametru A a jeho funkce příslušnosti μ (a)

Neurčité číslo $\tilde{a} = (a_{min}, \bar{a}, a_{max})$ lze vyjádřit ve tváru $\tilde{a} = \left(U, \mu_{\tilde{a}}(a)\right)$, kde U - je univerzum a $\mu_{\tilde{a}}(a)$ se interpretuje jako funkce příslušnosti, tj. míra příslušnosti daného prvku do neurčitého intervalu, v uvedeném příkladu cca od 4 do 15 na ose x. Funkce příslušnosti spojitě nabývá hodnot od 0 k maximálnímu významu, který se rovná 1, v oblasti nejvíce možných významů.

Trojúhelníkové číslo $A = [a_{min}, \bar{a}, a_{max}]$ je vytvořeno když zpracovatel investičního projektu použije jako vstupní informaci interval parametru $[a_{min}, a_{max}]$ a nejvíce očekávaný význam $\bar{a}$. Parametry $[a_{min}, \bar{a}, a_{max}]$ se nazývají **významnými body trojúhelníkového neurčitého čísla.** Je nutné poznamenat, že vyčlenění tří hlavních významů ve vstupních parametrech se velmi rozšířilo v investiční analýze, Redched [41]. Zpravidla se těmto bodům přiřazují subjektivní pravděpodobnosti realizace příslušných scénářů vzniku jakéhokoliv rizikového faktoru („pesimistického“, „nevíce očekaváného“ a „optimistického“). Ale jak je konstatováno v práci Nedosekina [30], nejsou žádné důvody k tomu, aby se operovalo pravděpodobnostmi, jejichž význam není možné ani určit, ani adekvátně stanovit. Proto se v investiční analýze v případě neurčité vstupní informace pojem **nahodilosti** zaměňuje pojmem **možnosti.**

V případě integrovaného hodnocení rizika projektu PPP při neurčité informaci se veškeré složky faktorů rizik vyjádřené v podobě peněžních toků možných ztrát formalizují v podobě neurčitých intervalů s určitými funkcemi příslušnosti. Níže je uvedena varianta modelu NPV integrovaného rizika PPP projektu při neurčité vstupní informaci, kdy veškeré složky faktorů rizik vyjádřené v podobě peněžních toků možných ztrát za příslušný rok jsou neurčité intervaly (čísla):

$$[NPV(P)_{min}, \overline{NPV(P)}, NPV(P)_{max}] = \sum_{n=1}^{35} [NPV(A)_{\min}, \overline{NPV(A)}, NPV(A)_{max}] , \quad (4.3)$$

kde $[NPV(P)_{min}, \overline{NPV(P)}, NPV(P)_{max}]$ je NPV integrovaného **převedeného rizika** PPP projektu za dobu 35 let; $[NPV(A)_{min}, \overline{NPV(A)}, NPV(A)_{max}]$ jsou významné body trojúhelníkového neurčitého čísla **převedených rizik** možné ztráty v příslušném roce.

$$[NPV(Z)_{min}, \overline{NPV}(Z), NPV(Z)_{max}] = \sum_{n=1}^{35} [NPV(B)_{\min}, \overline{NPV(B)}, NPV(B)_{max}] , \quad (4.4)$$

kde $[NPV(Z)_{min}, \overline{NPV(Z)}, NPV(Z)_{max}]$ je NPV integrovaného **zadrženého rizika** PPP projektu za 35 let; $[NPV(B)_{min}, \overline{NPV(B)}, NPV(B)_{max}]$ jsou významné body trojúhelníkového neurčitého čísla **zadržených rizik** možné ztráty v příslušném roce.

Neurčitou množinu **zadržených rizik** lze matematicky formulovat takto:

$$\tilde{Z} = \{x_1/\mu_B(x_1) + x_2/\mu_B(x_2) + x_3/\mu_B(x_3) + x_4/\mu_B(x_4) + x_5/\mu_B(x_5) + x_6/\mu_B(x_6) + x_7/\mu_B(x_7) + x_{15}/\mu_B(x_{15})\} \quad (4.5)$$

a **převedených rizik**:

$$\tilde{P} = \{x_6/\mu_A(x_6) + x_8/\mu_A(x_8) + x_9/\mu_A(x_9) + x_{10}/\mu_A(x_{10}) + x_{11}/\mu_A(x_{11}) + x_{12}/\mu_A(x_{12}) + x_{13}/\mu_A(x_{13}) + x_{14}/\mu_A(x_{14})\} \quad (4.6)$$

kde x je pořadové číslo identifikovaného rizika. Níže uvedená tabulka přiřazuje každému riziku, identifikovanému jako významné riziko projektu, příslušný význam X (číslo rizika je uvedeno ze seznamu rizik z přílohy ke 4. kapitole).

Tab.4.3 Určení pořadového čísla významnému riziku

Pořadové číslo														
X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}
1.1	*1.2*	*1.3*	*2*	*3*	*4.1*	*4.2*	*5.1*	*5.2*	*6.1*	*6.2*	*7*	*8.1*	*8.2*	*9*
Číslo rizika ze seznamu rizik projektu														

Zdroj: tabulka vlastní.

Je nutno podotknout, že riziko x_6 – riziko chyb v projektové dokumentaci [4.1] je sdíleným rizikem mezi zadavatelem a koncesionářem v poměru 50:50. Při matematické formulaci je znaménko «/» rozdělovacím znaménkem a znaménko «+» znamená ne aritmetickou operaci součtu, ale **teoreticko-množinové sjednocení** jednotlivých rizik. Vstupními parametry modelu NPV rizik jsou různé složky peněžních toků z jednotlivých rizik a výchozími parametry modelu jsou složky NPV zadržených a převedených rizik. Matematická formalizace s použitím teorie neurčitých množin předpokládá popis vstupních parametrů projektu v podobě neurčitého intervalu. Při provedení operací s neurčitými množinami podle pravidel teorie neurčité logiky se získá výsledný neurčitý interval pro cílový ekonomický ukazatel. Zpravidla se na základě praxe odborníků podaří kvantitativně popsat neurčité intervaly přípustných hodnot možných ztrát ze vzniku určitých rizik projektu. Po formulaci vstupních parametrů projektu je možné zhodnotit rozdělení $\mu_{\tilde{Y}}(y)$ výchozího parametru ukazatele NPV zadržených / NPV převedených rizik projektu (y) podle „principu rozšíření Zadeh“. V souladu s nim se kvantitativní význam hodnoty určené pomoci příslušnosti k neurčité množině nachází jako parametr definičního oboru n - prvků:

$$\mu_{\tilde{Y}}(y^*) = \sup_{\substack{f(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) = y^* \\ x_i^* \in supp(\tilde{X}_i),\ i=1 \dots n}} \left\{\min\left(\mu_{\tilde{X}_1}(x_1^*), \mu_{\tilde{X}_2}(x_2^*), \dots, \mu_{\tilde{X}_n}(x_n^*)\right)\right\} \quad (2.3)$$

kde $\mu_{\tilde{X}_i}(x_i^*)$ je funkce příslušnosti do fuzzy množiny $\tilde{X}_i$; a $f(x_1^*, x_2^*, \ldots, x_n^*)=y^*$ je funkční závislost výchozího parametru rizika projektu na vstupních parametrech.

4.3.4.2 Ekonomická interpretace fuzzy intervalů (čísel) a fuzzy množin

Neurčité modelování se zakládá na formulaci vstupních a výchozích parametrů v podobě neurčitých množin. Tato formulace je spojena s posouzením speciálních neurčitých množin, definovaných na množině reálných čísel a majících některé další vlastnosti. Všeobecným pojmem v tomto kontextu je pojem neurčité hodnoty.

Definice 1. **Neurčitou hodnotou** se nazývá libovolná neurčitá množina $\tilde{A} = \{X, \mu_{\tilde{A}}(x)\}$ definovaná na množině reálných čísel ($\mathbb{R}$) , kde univerzem X jsou všechna $\mathbb{R}$.

Takže funkce příslušnosti neurčité množiny se může zadat takto: $\mu_{\tilde{A}}(x): \mathbb{R} \rightarrow [0.1]$.

Pokud univerzem je podmnožina nezáporných reálných čísel $\mathbb{R}^+$, pak $\tilde{A}$ je nezáporná neurčitá hodnota.

Definice 2. Neurčitá množina $\tilde{A}$ s funkcí příslušnosti $\mu_{\tilde{A}}(x): \rightarrow [0.1]$ se nazývá neurčitým intervalem (číslem), pokud jsou splněny následující podmínky:

1. $\tilde{A}$ – je konvexní neurčitá množina:

$$\mu_{\tilde{A}}(\lambda * x_1 + (1-\lambda)) * x_2 \geq \min\{\mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{A}}(x_2)\}, \quad kde\ x_1, x_2 \in X, \lambda \in [0.1] \tag{4.7}$$

2. Fuzzy množina je normální, jestliže:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = 1; \quad kde\ x \in [\overline{a}\ \underline{a}] \tag{4.8}$$

Je na místě upozornit na to, že v literatuře existují určité terminologické neshody ohledně pojmů **neurčitý interval**, a **neurčité číslo**. Nejčastěji se pod pojmem „**neurčitý interval**“ rozumí neurčitá množina, definovaná na intervalu $[\overline{a}\ \underline{a}]$ takovém, že $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ pro $x \in [\overline{a}\ \underline{a}]$ (například, lichoběžníková funkce příslušnosti). Pod pojmem „**neurčité číslo**“ se rozumí neurčitá množina, definovaná na jediném významu $\alpha = \underline{a} = \overline{a}$ takovém, že $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ pro $x \in \alpha = \underline{a} = \overline{a}$ (trojúhelníková funkce příslušnosti).

Neurčité intervaly (čísla), které jsou rozložením možností, mají čtyři základní charakteristiky:

- význam nebo interval s maximálním stupněm příslušnosti;
- co nejvíce možný význam - těžiště grafu funkce příslušnosti;
- minimální význam podle úrovně příslušnosti;
- maximální význam podle úrovně příslušnosti.

Význam nebo interval s maximálním stupněm příslušnosti odpovídá maximu příslušnosti významů neurčité hodnoty. **Těžiště** je co nejvíce možný význam, který přijme neurčité číslo, pokud jsou vyváženy všechny faktory neurčitosti, které přihrávají jeho navýšení. Pokud předpokládáme, že navýšení nebo snížení významů neurčité hodnoty je spojeno s působením jakýchkoliv faktorů neurčitosti, které přihrávají navýšení nebo snížení a podle toho síla faktorů vyvolává roztažení neurčité hodnoty, pak těžištěm je bod, v němž působení těchto faktorů vyrovnané. Tato charakteristika neurčitého čísla vyjadřuje kumulativní účinek faktorů různého zaměření. Význam této charakteristiky se může hodně lišit od významu maximální úrovní příslušnosti. Dvě další charakteristiky neurčitých čísel také dovolují získat dodatečnou informaci pro přijetí rozhodnutí. Tyto charakteristiky se opírají o pojem **úrovně příslušnosti**, který vyjadřuje, například, stupeň subjektivní jistoty odborníka. Takže vysoký význam stupně jistoty odpovídá tomu, že odborník „odhazuje“ všechny faktory, které vedou k málo možným významům neurčité hodnoty. Nízký význam stupně jistoty odpovídá tomu, že odborník přihlíží k co nejširšímu spektru možných významů neurčité hodnoty. Šířka tohoto spektra se vyznačuje minimem a maximem neurčitého čísla podle úrovně jistoty, což znamená rozložení možných významů neurčité hodnoty na dané úrovni. **Minimální význam neurčitého čísla rizikového faktoru podle zadané úrovně příslušnosti** se definuje jako optimistické hodnocení číselné hodnoty. Použití tohoto hodnocení se rovná zvážení faktorů, které přihrávají snížení významu hodnoty. **Maximální význam neurčitého čísla rizikového faktoru podle zadané úrovně příslušnosti** se definuje jako pesimistické hodnocení číselné hodnoty. Použití tohoto hodnocení se rovná zvážení faktorů, které přihrávají navýšení významu hodnoty.

4.3.3.3 Fuzzy čísla a rizika

Hlavní zvláštností hodnot popisovaných neurčitými čísly, např. dopad nějakého rizika, je v tom, že hodnota je na číselném intervalu neurčitá. Příčinou této neurčitosti jsou různé faktory nejistoty, které vedou k tomu, že význam hodnoty může být menší nebo větší než očekávané číslo. Neurčitá čísla (už ve svém smyslu) jsou charakteristikou rizika, protože určují jistotu dosažení hodnoty toho nebo jiného významu v souladu s odpovídající úrovní příslušnosti. Charakteristikou rizika při analýze hodnoty mohou být použity tyto ukazatele:

- charakteristiky neurčitého čísla;
- forma neurčitého čísla;
- rozpětí intervalu podle zadané úrovně příslušnosti.

Forma neurčitého čísla poskytuje vizuální představu o oblastech soustředění jistoty na číselné ose. Podle formy můžeme posoudit nejvíce možné hodnoty veličiny a určit její lingvistickou interpretaci.

Rozpětí intervalu podle zadané úrovně příslušnosti je rozdíl mezi maximálním a minimálním významem neurčitého čísla podle zadané úrovně příslušnosti.

Takže neurčité intervaly (čísla) jsou složitým, ale zároveň mocným prostředkem formulace nejistoty. Pojem neurčité množiny připouští různá upřesnění, která se účelně využívají pro adekvátnější zobrazení sémantiky nejistoty při vybudování neurčitých modelů složitých systémů.

4.3.4.4 Princip rozšíření Zadeh a také „α-řezový princip rozšíření“. Aritmetické operace na neurčitých číslech.

Princip rozšíření je jednou ze základních myšlenek, kterou obohatil teorii fuzzy množin L.Zadeh. Umožňuje aplikovat na fuzzy množiny ty funkce a operace, které byly původně definovány pro prvky univerza, například pro čísla. Zde ukážeme, jakým způsobem se aritmetické operace na reálných číslech rozšiřují na ostré množiny reálných čísel. Dostaneme se tak na intervalovou aritmetiku.

Pro provedení rozšířených aritmetických operací na neurčitých číselných hodnotách, se kromě „principu rozšíření Zadeh“, používá také „α-řezový princip rozšíření“, spočívající v provedení aritmetických operací na uzavřených intervalech reálných čísel na každém α-řezu. Operace „α-řezový princip rozšíření“ je nejuniversálnější technikou neurčito-intervalových výpočtů, která je založena na rozložení vstupních neurčitých intervalů na α-řezu (α-řezové množiny). α-řezovou množinou (α-řezem) neurčité množiny $\tilde{X}$ se nazývá určitá podmnožina $\tilde{X}^a$ univerzální množiny X, která se určuje takto:

$$\tilde{X}^a = \{ x \in X | \mu_{\tilde{X}}(x) \geq \alpha \}, \tag{4.9}$$

kde $\mu_{\tilde{X}}(x)$ je funkce příslušnosti x k množině $\tilde{X}$, $\alpha \in [0,1]$.

Pokud je zadaná funkce n neurčitých argumentů $\tilde{Y} = f(\tilde{X}_1, \tilde{X}_2, \ldots, \tilde{X}_n)$, v níž neurčitá čísla jsou podána v podobě rozložení na α -řezových množinách:

$\tilde{Y}_i = \cup\,[\underline{y}^a,\ \overline{y}^a]$, $\tilde{X}_i = \cup\,[\underline{x}_i^a\ ,\overline{x}_i^a]$ $\quad (i=\overline{1,n})$ (4.10)
$\alpha \in [0,1]$ $\quad \alpha \in [0,1]$

kde ∪ je n-členné sjednocení pak pro jakýkoliv *α – řez* se význam funkce vypočítává podle vzorce:

$\underline{y}^a = inf\,(f\,(x_1, x_2, \ldots, x_n))$ (4.11)

$\overline{y}^a = sup\,(f\,(x_1, x_2, \ldots, x_n))$ (4.12)

$x_i \in [\underline{x}_i^a, \overline{x_i^a}]$, $i=\overline{1,n}$ (4.13)

kde $\underline{x}_i^a$ i $\overline{x}_i^a$, ($\underline{y}^a$, $\overline{y}^a$) jsou spodní a vrchní hranice neurčitého čísla $\tilde{X}_i$ ($\tilde{Y}_i$) na řezu $\alpha \in [0,1]$.

Protože a-řezy fuzzy čísel jsou odpovídající intervaly, lze aritmetické operace s fuzzy čísly převést na operace s jejich řezy, tedy odpovídajícími intervaly.

Jak vyplývá ze vzorců (4.10) – (4.13) je použití *α*-řezového principu rozšíření spojeno s nezbytnosti vyřešení dvou úkolů optimalizace, tj. hledání minima (4.11) a maxima (4.12) funkce *f(°)* při omezení (4.13) na každém řezu $\alpha \in [0,1]$ (4.10).

Je zřejmé, že pro praktické použití „*α*-řezového principu rozšíření“ (4.10) - (4.13) je nezbytné jeho počítačové zpracování. V obecném případě je praktické použití „*α*-řezového principu rozšíření“ spojeno se značnými výpočtovými výdaji. Pro jejich snížení je účelné brát v úvahu zvláštnosti vypočítávaného výrazu $f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$. S přihlédnutí ke zvláštnostem, které jsou vlastní reálným úkolům, je možné zjednodušit řešení optimalizačních úkolů (4.10) - (4.13) a získat jednoduší pravidla výpočtů. V mnoha úkolech finanční a investiční analýzy většina funkcí (např. NPV) neustále roste a/nebo neustále se snižuje vůči každé vstupní proměnné. Proto se mohou pro získání výsledku při neurčité vstupní informaci v dané situaci použit pravidla, která nevyžadují pracné výpočtové postupy, příznačné pro známý „princip rozšíření Zadeh“ (2.3) nebo pro všeobecnou variantu (4.10) - (4.13) „*α*-řezového principu rozšíření“.

Skutečně, pokud funkce *n* proměnných $y = f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ neustále roste vůči prvním *m* proměnným, tj.

$(\frac{\partial f}{\partial x_i} > 0\ ,\ \forall x_i \subset [\underline{x}_i^a, \overline{x}_i^a]$, $i = \overline{1,m}$, $\forall \alpha \in [0,1]$, (4.14)

a snižuje se vůči ostatním (*n*-*m*) proměnným,

$\frac{\partial f}{\partial \chi_i} < 0$, $\forall x_i \subset [\underline{x}_i^a, \overline{x}_i^a], i = \overrightarrow{m+1, n}$, (4.15)

$\forall \alpha \in [0,1]$), pak pokud x_i je zadáno neurčitými čísly $\tilde{X}_\iota$ s nosiči

supp $(\tilde{X}_\iota) = [\underline{x}_i, \bar{x}_i]$, $i = \overrightarrow{1, n}$, (4.16)

a v příslušné funkci n neurčitých argumentů $\tilde{Y} = f(\tilde{X}_1, \tilde{X}_2, \ldots, \tilde{X}_n)$ jsou neurčitá čísla v podobě rozložení podle a-řezových množin, pak neurčité číslo $\tilde{Y} = f(\tilde{X}_1, \tilde{X}_2, \ldots, \tilde{X}_n)$, se v souladu se vzorcem (4.10) určuje takto, Nguyen [35], Djubua [8]:

$\tilde{Y} = Y[\underline{y}^a, \bar{y}^a] = Y[f(\underline{x}_1^a, \ldots \underline{x}_m^a, \bar{x}_{m+1,\ldots,}^a \bar{x}_n^a), f(\bar{x}_1^a, \ldots, \bar{x}_m^a, \underline{x}_{m+1}^a, \ldots, \underline{x}_n^a)]$ (4.17)

Takže, pro dva zadané neurčité intervaly $\tilde{A}$ a $\tilde{B}$, čtyři základní aritmetické úkony, označované « $*$ » $\in \{+,-,\cdot,/\}$, podle „α-řezového principu rozšíření“ (4.9) pro $\forall \alpha \in [0,1]$ se určují , [22; 31]:

- Stanoví-li se pro každou pevnou úroveň příslušnosti $\alpha \in [0,1]$ odpovídající intervaly spolehlivosti $\tilde{A}^a = [\underline{a}, \overline{a}]^a$ a $\tilde{B}^a = [\underline{b}, \overline{b}]^a$ dvou neurčitých intervalů, pak je operace s neurčitými intervaly převádí na operace s jejich intervaly spolehlivosti a operace s intervaly se převádí na operace s reálnými čísly, tj. hranicemi intervalů podle pravidel intervalové matematiky:

$\tilde{A}^a + \tilde{B}^a = [\underline{a} + \underline{b}, \overline{a} + \overline{b}]^a$ (4.18)

$\tilde{A}^a - \tilde{B}^a = [\underline{a} - \overline{b}, \overline{a} - \underline{b}]^a$ (4.19)

$\tilde{A}^a \cdot \tilde{B}^a = [min(\underline{a} \cdot \underline{b}, \underline{a} \cdot \overline{b}, \overline{a} \cdot \underline{b}, \overline{a} \cdot \overline{b}), max(\underline{a} \cdot \underline{b}, \underline{a} \cdot \overline{b}, \overline{a} \cdot \underline{b}, \overline{a} \cdot \overline{b})]^a$ (4.20)

$\tilde{A}^a / \tilde{B}^a = [min(\underline{a} / \underline{b}, \underline{a} / \overline{b}, \overline{a} / \underline{b}, \overline{a} / \overline{b}), max(\underline{a} / \underline{b}, \underline{a} / \overline{b}, \overline{a} / \underline{b}, \overline{a} / \overline{b})]^a$, (4.21)

- Dále se provádí sestavení funkce příslušnosti výsledného neurčitého intervalu (čísla) podle získaných výsledků pro každý α-řez intervalu za použití metod interpolace.

Když použijeme zadaný α-řez dosazením odpovídajících hranic intervalu podle pravidel neurčité aritmetiky (4.18 – 4.21), získáme integrované hodnocení rizika projektu podle určitého α-řezu.

Když si dáme za úkol akceptovatelnou úroveň diskretizace podle α-řezu na intervalu příslušnosti [0,1], pak projektant může rekonstruovat výsledné neurčité číslo NPV integrovaného rizika aproximací jeho funkce příslušnosti μ_{NPV} lomenou čárou po intervalových bodech.

4.3.4.5 Matematická formalizace nejistoty pomocí pokročilých přístupů

Velice perspektivní pro matematickou formalizaci nejistoty je teorie neurčitých množin, která dovoluje při použití závěrečných znaleckých posudků sestavit algoritmy prognózování na základě procedur logického závěru. V současné době stále víc ozřejmuje jaké postupy, v jakých situacích a v jakých spojeních se musí použit. Komplex nových teorií a metod se posouvá k přirozenému sloučení do všeobecné teorie analýzy pravděpodobností.

Nastartovaný proces ještě není u konce. Z celé různorodosti nových teorií a metod operování s nejistotami se v praxi nejvíce rozšířily metody teorie neurčitých množin a aplikovaná intervalová analýza.

Tato kapitola se věnuje modelování reálných procesů s přihlédnutím k pravděpodobnostem. Problémy se formulují na základě syntézy koncepcí teorie neurčitých množin a aplikované a intervalové analýzy, které podstatně rozšiřují možnosti počítání s nejistotou různého původu, která nezbytně doprovází matematický popis reality. Tento přístup dovoluje řešit úkoly prognózování rozvoje realizace investičního projektu v podmínkách neúplnosti a nepřesnosti informací o probíhajících procesech, nedostatku poznatků, při existenci subjektivity hodnocení. Proces modelování je možné představit jako následující postupnost úkonů:

- uvědomění si existence problému
- vyčlenění hlavních faktorů definujících problém, které musí sloužit jako výchozí parametry modelů
- vyčlenění definujících vstupních proměnných modelů
- vlastní rozpracování matematického modelu
- identifikace modelu (parametrická nebo strukturně-parametrická)
- provedení číselných experimentů s modelem, určení parametrů charakterizujících problém, který se řeší (s použitím údajů modelování a apriorní informace).

Je nutno podotknout, že ve většině reálných případů vyřešení problémů nevyžaduje vybudování konstruktivního matematického modelu, který adekvátně popisuje zkoumaného proces nebo jev. Ze všech stran to znamená, že vyřešení problému přijmout rozhodnutí při realizaci investičního projektu se může omezovat na etapy analýzy apriorní informace a analýzy údajů získaných od odborníků. Pro popis neurčitých množin riziko-proměnných se zavádí pojmy **neurčité** a **jazykové**

proměnných. **Neurčitá proměnná** se popisuje souborem (N,X,A), kde N je název proměnné, X je universální množina (oblast úvah), A je neurčitá množina na X. Významy **jazykové proměnné** mohou být neurčité proměnné, t.j. jazyková proměnná je na vyšší úrovni, než neurčitá proměnná. Jazyková proměnná (JP) je definovaná jako šestice

$$JP = [X, T(X), G, M , P, SP], \tag{4.22}$$

kde: *X* je jméno jazykové proměnné, *T(X)* je množina hodnot *JP* - jazykových výrazů, *G* je syntaktické pravidlo, pomocí kterého jsou tvořeny jazykové výrazy z množiny *T(X), M* je množina kanonických objektů, *P*={V| V je možný svět} je třída možných světů, *SP* je sémantické pravidlo, přiřazující každému jazykovému výrazu jeho význam.

Pojem jazykové proměnné je vhodný zejména při popisu rozměrů či velikostí. V této souvislosti je důležité uvést pojem fuzzy výrok. Nejjednodušší fuzzy výrok se nazývá atomický. Je definován pomocí funkce příslušnosti μA, která je definována na univerzu U. Hodnota funkce příslušnosti μA(x) potom určuje stupeň, s jakým ostrá hodnota proměnné x patří do fuzzy množiny A. Atomické fuzzy výroky mohou být spojeny spojkami AND, OR, NOT a vytvářejí tak složené fuzzy výroky, Novák [37].

Fuzzy inferenční systém

Fuzzy logika umožňuje využití znalostí a zkušeností experta, které jsou definovány formou pravidel. Základním postupem je transformace jazykových prvků do vytvářených fuzzy množin. Náležení prvků do fuzzy množiny je provedeno pomocí určité míry příslušnosti. Základním prvkem přibližného usuzováni je jazyková proměnná, která reprezentuje míru znalostí. S použitím jazykové proměnné úzce souvisí pojem fuzzy výrok. Fuzzy výrok typu IF – THEN (když – potom) se nazývá implikace neboli podmíněné pravidlo. Všeobecná struktura fuzzy inferenčního systému obsahuje **proces fuzzyfikace** vstupních proměnných pomocí funkcí příslušnosti, **implikaci** a **agregaci** v rámci podmíněných pravidel a také proces **defuzzifikace**.

Základem pro provedení operace neurčitého logického závěru je báze pravidel, obsahující neurčité výroky v podobě „když – potom“ a funkce příslušnosti pro odpovídající jazykové výroky. Přitom se musí dodržovat následující podmínky:

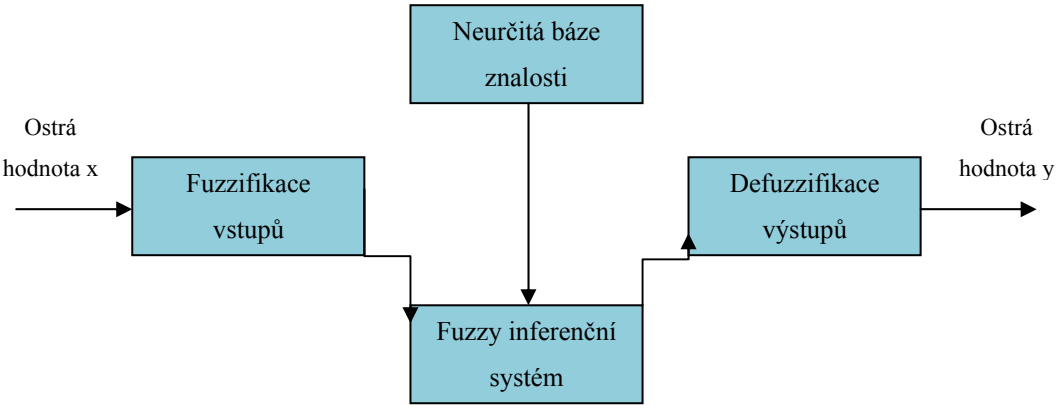
- existuje alespoň jedno pravidlo pro každý jazykový výrok výchozí proměnné,
- pro jakýkoliv výrok vstupní proměnné existuje alespoň jedno pravidlo, v němž se tento výrok používá jako premisa (levá část pravidla).

V opačném případě dochází k neúplné bázi neurčitých pravidel. Fuzzy výrok typu IF-THEN, Novák [37] se nazývá fuzzy implikace (podmíněné pravidlo) a je symbolicky vyjádřen takto:

IF (fuzzy výrok) *THEN* (fuzzy výrok), (4.23)

kde fuzzy výrok je buď atomický nebo složený. Fuzzy výrok před *THEN* se nazývá antecendent (předpoklad), fuzzy výrok za *THEN* se nazývá konsekvent (závěr).

Fuzzy inferenčním systémem se nazývá aproximace závislosti $y = f\ (x_1, x_2, \dots x_n)$ s pomocí neurčité báze znalosti a operací s neurčitými množinami. Všeobecná struktura fuzzy inferenčního systému, Novák [38] je znázorněná na obr. 4.4. Obsahuje proces fuzzifikace vstupních proměnných pomocí funkcí příslušnosti, návrh báze podmíněných pravidel nebo automatickou extrakci podmíněných pravidel ze vstupních údajů, aplikaci operátorů (AND, OR, NOT) v podmíněných pravidlech, implikaci a agregaci v rámci těchto pravidel a proces defuzzifikace získaných výstupů na ostré hodnoty.



Obr.4.5 – vlastní: Struktura fuzzy inferenčního systému

V procesu fuzzifikace jsou vstupy transformovány do oboru hodnot vstupních funkcí příslušnosti. Inferenční mechanizmus je založený na operacích fuzzy logiky a implikaci v rámci podmíněných pravidel, Novák [38]. Na základě agregačního procesu jsou transformovány výstupy jednotlivých podmíněných pravidel do výstupní fuzzy množiny. V procesu defuzzifikace je provedena konverze fuzzy hodnot na očekávané ostré hodnoty. Návrh tvaru, počtu a parametrů vstupních a výstupních funkcí příslušnosti lze realizovat pomocí expertů nebo generovat automaticky, např. pomocí neuronové sítě. Při navrhování se používají především trojúhelníkové, lichoběžníkové a i jiné funkce příslušnosti. Vstupem do fuzzifikačního procesu je ostrá hodnota, která je dána univerzem (referenční množinou) U. Výstupem fuzzifikačního procesu je hodnota funkce příslušnosti μA(x). Báze podmíněných pravidel se skládá z podmíněných pravidel, Novák [38]. Podmíněná pravidla lze získat od expertů. Algoritmy inferenčního systému se liší hlavně typem použitých pravidel, logických

operací a typem defuzzifikace. Vychazejice ze všeobecné struktury fuzzy inferenčních systémů lze navrhnout tři základní typy fuzzy inferenčních systémů, a to typ Mamdani, typ Takagi-Sugeno a typ Tsukamoto. Rozeberme podrobně inferenční systém typu Mandami. Je to nejpoužívanější způsob inferenčního systému v neurčitých systémech. Používá se v něm minimaxní kompozice neurčitých množin. Tento mechanismus zahrnuje následující posloupnost úkonů:

1. **Proces fuzzifikace**: určují se míry pravdivosti, tj. významy funkcí příslušnosti pro levé části každého pravidla (předpokladu). IF $X_1=A_{1k}$ and … and $X_n=A_{nk}$ THEN $Y=B_k$

   Pro bázi pravidel s *m* pravidly vyznačíme míru pravdivosti jako $A_{ik}(x_k)$, $i=1..m$, $k=1..n$.

2. **Inferenční systém**.

   - Nejdříve se určují úrovně „useknutí“ pro levou část každého pravidla:

$$alfa_k=\min_i\left(A_{ik}(x_k)\right)$$

   - Dále se nalézají „zkosené“ funkce příslušnosti:

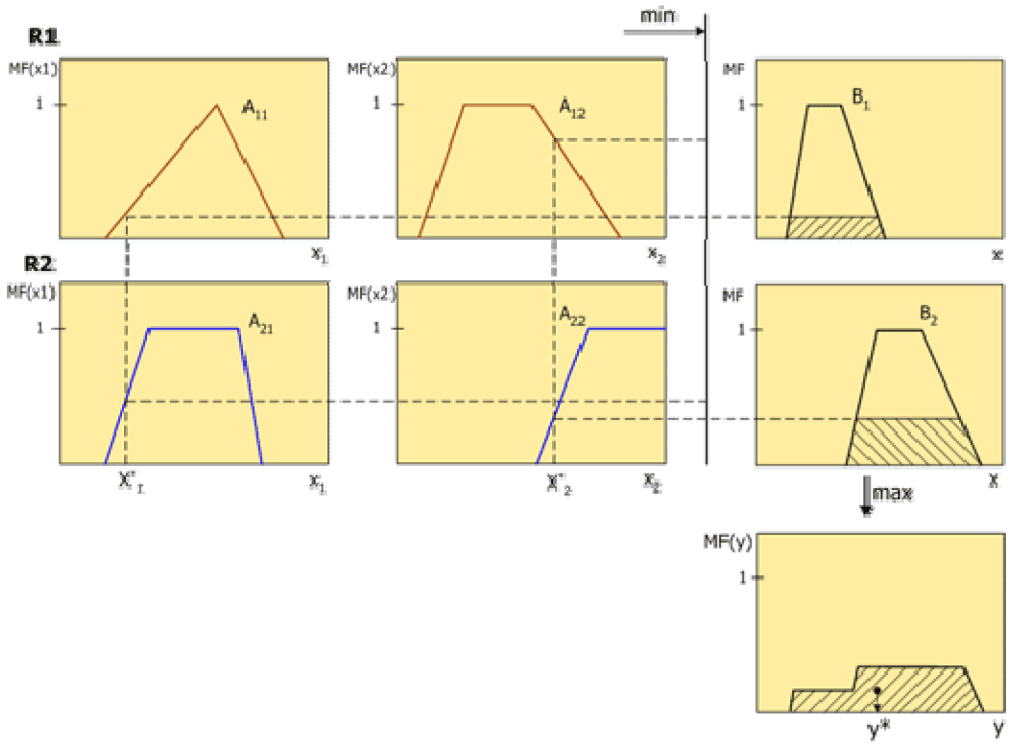
$$B_k^*(y)=\min_k\left(alfa_k, B_k(y)\right)$$

   - Kompozice nebo sjednocení získaných zkosených funkcí, pro které se používá maximální kompozice neurčitých množin:

$MF(y)=\max_k\left(B_k^*(y)\right)$, kde $MF(y)$ je funkce příslušnosti výsledné neurčité množiny.

   - Defuzzifikace nebo upřesnění. Existuje několik metod defuzzifikace, například, metoda středního centra nebo centroidní (Centroid) metoda.

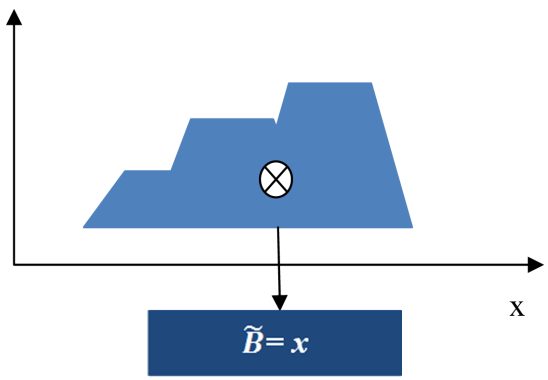
Geometrický smysl defuzzifikace je určení těžiště pro křivku MF(y). Obrázek 4.5 graficky znázorňuje průbeh inferenčního systému podle Mamdani pro dvě vstupní proměnné a dvě pravidla R1 a R2.



Obr. 4.6 Schéma inferenčního systému typu Mamdani. Zdroj [3]

V teorii neurčitých množin je procedura defuzzifikace analogická definici charakteristik polohy náhodných veličin v teorii pravděpodobnosti (střední očekávána hodnota, modus, medián). Nejjednodušším způsobem prováděni procedury defuzzifikace je výběr určitého čísla odpovídajícího maximu funkce příslušnosti. Defuzzifikace neurčité množiny $\tilde{B} = \int_{\underline{x}}^{\overline{x}} \mu_A(x)/x$ podle **centroidní metody** se provádí podle vzorce:

$$b = \frac{\int_{\underline{x}}^{\overline{x}} x* \mu_{A(x)}\, dx}{\int_{\underline{x}}^{\overline{x}} \mu_{A(x)}\, dx} \tag{4.24}$$



Obr.4.7 – vlastní: Výsledek defuzzifikace podle centroidní metody

Grafickým analogem tohoto vzorce je nalezení „těžiště“ rovinného obrazce ohraničeného osami souřadnic a grafem funkce příslušnosti neurčité množiny. Defuzzifikaci lze provádět dalšími postupy.

Tak např. interpretací **metody mediány** (Bisector) je nalezení takového bodu na vodorovné ose souřadnici, kdy vedená tímto bodem dělí plochu pod křivkou funkce příslušnosti na dvě stejně velké části.

V metodě **centra maxima** (Mean of Maximums - MOM) se hledá aritmetický průměr prvků universální množiny, které mají maximální stupeň příslušnosti. V případě defuzzifikace podle **největšího maxima** (Largest of Maximums – LOM) a **nejmenšího maxima** (Smallest of Maximums – SOM) se postupuji podle vzorců: $a = \max(G)$; $a = \min(G)$, kde G je sledovány maximální bod.

V závislosti na metodě použité při defuzzifikaci v modelu hodnocení rizika je možné určit pesimistickou, optimistickou a nejvíce očekávanou hodnotu integrálního hodnocení převoditelných a zadržených rizik projektu.

Po výsledném ocenění převoditelných a zadržených rizik pokročilou metodou s použitím fuzzy aritmetiky a fuzzy logiky můžeme určit celkové ukazatele NPV_{RE} PSC a NPV_{RE} PPP obdobným způsobem jak bylo výše uvedeno v případě použití metody Monte Carlo:

NPV_{RE} VZ = NPV přímých rozpočtových efektů + NPV převoditelných rizik + NPV zadržených rizik (4.1)

NPV_{RE} PPP = NPV transakcí mezí zadavatelem a soukromým partnerem + NPV zadržených rizik (4.2)

Shrnutí: použití metody neurčitých množin poskytuje řadu výhod, jelikož dovoluje:

- zařadit do analýzy kvalitativní proměnné,
- operovat neurčitými vstupními údaji,
- operovat jazykovými kritérii,
- rychle modelovat složité dynamické systémy,
- překonávat nedostatky a omezení existujících metod hodnocení projektových rizik.

Analýza rizik na základě statistických metod pro větší část nově založených společnosti v případě realizace projektu formou koncese se prakticky nedá použit, jelikož není akumulovaná statistická informace pro získání objektivního hodnocení. Takže metoda neurčitých množin

nevylučuje použití statistických metod a stává se nástrojem, když nelze použít jiné přístupy k hodnocení rizik projektu.

Závěrem, na teoretické shrnutín této kapitoly chci podotknout, že při detailním rozboru použití pokročilých metod při analýze rizik PPP projektu, jsem narazila na řadu nezodpovězených otázek. Část otázek se týká vědeckého opodstatnění použití analytické metody Monte Carlo za využití techniky statistických vzorků při získávání pravděpodobnostní aproximace pro získání výsledků určitých rizik, kde se doporučuje pro získání údajů o rozdělení pravděpodobnostního dopadu skupin projektových rizik provádět mnoho tisíc testování náhodných vzorků pravděpodobnosti a pravděpodobnostního dopadu rizika na náklady.

Jakým způsobem můžeme provést mnoho tisíc testování, když nemáme potřebnou statistickou základnu a jenom expertní odhady o intervalech nebo bodech dopadu a pravděpodobnostech vzniku rizikových faktorech? Vzhledem k složitosti modelů testování, různorodé nejistotě a proměnlivosti odhadu dopadu rizik je využití analýzy Monte Carlo hodně diskutabilní, aby bez vyžadované úrovní statistické analýzy použit formální kalkulací rizik.

Proto jsem se při svém studiu a vědeckém bádání zaměřila na pokročilou metodu s použitím fuzzy matematiky a fuzzy logiky v analýze rizik PPP projektu. Výsledek byl pro mě ohromující, protože prokázal, že metoda bere ohled na různé druhy nejistoty a proměnlivosti vstupních údajů a hlavně je flexibilní a přizpůsobivá při modelování subjektivní pravděpodobnosti expertního odhadu.

Druhá část otázek se týkála instrumentálního uplatnění a odstranění řady nedostatků dvou pokročilých přístupů k modelování nejistoty. Těmito otázkami se zabývá následující kapitola, hlavně to, jakým způsobem jsou znalecké posudky zabudovány do analýzy scénářů a jak se dají uplatnit v analýze rizik projektu dvěma pokročilými přístupy: intervalově-pravděpodobnostním a neurčitě-množinovém způsobem.

5 Metodologie modelování v podmínkách nejistoty

5.1 Modely používané pro popis nejistých údajů: pravděpodobnostní, neurčity, intervalový

Ve většině aplikovaných úkolů pracuje výzkumník s nepřesnými výchozími údaji, jejichž neurčitost je vyvolána různými faktory.

Tab. 5.1 Zdroj nejistoty a nepřesnosti

Údaje	Zdroj nejistoty a nepřesnosti
Výsledky měření	Chyby v měření (systematické a náhodné), chyby v zaokrouhlování
Prognózní údaje	Neznalost, nejistota, neúplnost informace, metodické chyby
Znalecké posudky	Subjektivita, neznalost, chyby v zaokrouhlování

Zdroj: tabulka vlastní

V závislosti na zdroji nepřesných a nejistých údajů se v současné době používají různé modely popisu nejistých údajů, včetně pravděpodobnostního, neurčitého a intervalového modelu. Každý z těchto modelů má svoje paradigma, opírá se o odpovídající teoretický aparát, má svoje metody analýzy a oblast použití.

Pravděpodobnostně-statistický model, Chimmelbau [21], je založen na předpokladu, že zkoumaná proměnná x je náhodnou veličinou se zadanou funkci hustoty $f(x)$. Tento model můžeme zařadit ke klasickým modelům pro jeho hlubokou, teoretickou a metodickou propracovanost mnoha různých příloh, včetně regresní, korelační, faktorové a disperzní analýzy. Pravděpodobnostně-statistický model je dodnes nejpopulárnější a široce se používá mnoha aplikacích.

Neurčitý model, Bellman [2], je založen na pojmu neurčité množiny $\tilde{A}$, která se popisuje neurčitou proměnnou x a její funkcí příslušnosti $\mu_A(x)$ (viz. kapitola 4). Formálně se neurčitá množina zapisuje v podobě:

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_A(x)) : x \in X, 0 \leq \mu_A(x) \leq 1\}, \quad (5.1)$$

kde x znamená možné významy neurčité proměnné v zadané oblasti X; $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$ je funkce příslušnosti, která zadává stupeň příslušnosti konkrétního významu x neurčité množině $\tilde{A}$. Obvykle se funkce příslušnosti $\mu_A(x)$ zadává expertní cestou na základě informace o zdrojích nejistoty proměnné x. Pojem „stupeň příslušnosti“ v některém smyslu je analogický pojmu pravděpodobnosti: $\mu_A(x_1) = 0$ znamená, že význam x_1 nepatří množině A, $\mu_A(x_2) = 1$ znamená

že význam x_2 určitě patří množině *A*. Ale funkce příslušnosti na rozdíl od hustoty pravděpodobnosti *f(x)* **nesplňuje podmínku normování.**

V **intervalovém modelu,** Moore [31], se nejistota parametru *x* popisuje hranicemi jeho možných významů v podobě $[x] = [x_{min}\,;\, x_{max}]$. Na rozdíl od teorie pravděpodobnosti se uvnitř intervalu $[x]$ nezadává žádná pravděpodobnostní míra, tj. veškeré významy uvnitř intervalu se předpokládají jako stejně možné (nezaměňovat s významem „stejně pravděpodobné"!).

Pro hodnocení rizika investičních projektů se používá analýza scénářů, kdy se projekt hodnotí pro výsledný počet různých scénářů a každému z nich se připisuje určitá pravděpodobnost p_i. Integrální ukazatel očekávané průměrné škody ze vzniku toho nebo jiného rizika projektu se vypočítává podle vzorce:

$$Z = \sum_{n=1}^{i} p_i * D_i\,, \tag{5.2}$$

kde Z je intervalový ukazatel peněžních ztrát při nepříznivé události spojené se vznikem určitých faktorů rizika; D_i je dopad rizika vyjádřený peněžními ztrátami; *i* je počet faktorů rizika.

Náhodnost je jedním a ne vždy hlavním zdrojem nejistoty. Ta vzniká hlavně z neznalostí, neúplností a nepřesností informací. V poslední době se ve světové literatuře navrhuje řada nových modelů pro popis nejistoty nikoli v termínech pravděpodobnosti, ale možnosti nepříznivé události. Místo klasického pravděpodobnostního modelu se používá model ekonomického rizika.

Ztráty = nejistota * peněžní ztráty při nepříznivé události.

Pro popis nejistoty se navrhují různé přístupy a teoretické metody, mezi které patří teorie neurčitých množin, teorie nepřesných pravděpodobností, model intervalové pravděpodobnosti a model s omezenými pravděpodobnostmi. Poslední tři modely v tomto seznamu se posuzují jako symbióza pravděpodobnostního a intervalového přístupu.

Jak již bylo uvedeno výše, scénáře se vytvářejí na základě hodnocení expertů. Hodnocení expertů mohou být vyjádřena různými matematickými formami. Nejčastěji se používá kvantitativní hodnocení v podobě intervalů přípustných hodnot nebo v podobě neurčitých množin - možných hodnot. Proces tvorby kvantitativních scénářů lze rozčlenit do tři fází, které se skládají z výběru rizikových faktorů použitých pro tvorbu scénářů, stanovení úrovní dopadů těchto faktorů a vlastní tvorby scénářů včetně stanovení jejich pravděpodobností. Blíže proces tvorby scénářů vysvětluje kniha Hnilica, Fotr [19]. Souhrn scénářů musí být přehledný. Vytvoření souhrnu scénářů je předmětem odborného průzkumu, při němž se často používá zjednodušený přístup k prognózování. Přesněji řečeno, vytvářejí se tři scénáře – optimistický, nejvíce pravděpodobný a pesimistický. Přičemž pro každý scénář se poměrně libovolně vybírají významy parametrů

popisujících ekonomickou situaci. Cílem tohoto přístupu je vypočítat intervaly rozpětí hodnot nebo „koridory“ pro časové řady zajímající experta a pravděpodobnosti realizace toho nebo onoho scénáře.

Abychom mohli brát v úvahu všechny potenciální scénáře vývoje realizace projektu, je možné přejít od diskrétního prostoru scénářů ke spojitému, pokud vyměníme váhové rozdělení faktorů za spojité rozdělení pravděpodobnosti při použití metody Monte Carlo. Jak již bylo uvedeno v 1. kapitole, hlavním problémem při modelování nejistoty různorodého původu s navíc chybějicí dostačující informací o ní je odůvodnění použití úrčitého pravděpodobnostního rozdělení rizikového faktoru expertem.

V přechodu od klasické pravděpodobnosti k axiologické se zvýšila role experta a jeho přednosti při hodnocení. To znamená, že sám expert, jeho vědecká aktivita a jeho přednosti začínají vystupovat jako objekt vědeckého výzkumu. I když jistota (nejistota) experta při hodnocení má kvalitativní výraz, musíme najít cestu kvantitativního hodnocení jeho úvah/předností.

5.2 Expert a jeho „poznávací aktivita“

Vznik subjektivních pravděpodobností v ekonomické analýze není zdaleka náhodný. Tím byl zahájen **první strategický ústup** vědy před nejistotou, která má neodstranitelnou povahu. V tomto zadání vědeckého úkolu je hlavní naučit se modelovat subjektivní pravděpodobnost. Zejména je důležité vědět podle kterých kritérií provádí expert „odhad“ běžné ekonomické situace, stavu objektu zkoumání, pole pro přijetí řešení. V souladu s tím expert vědomě nebo podvědomě ustupuje od bodových číselných hodnot, které vyměňuje za kvalitativní charakteristiky situace vyjádřené přirozeným jazykem, například vysoká nebo nízká úroveň faktoru. Pokud se termíny přirozeného jazyka nesrovnávají s kvantitativním hodnocením, pak se tyto termíny mohou interpretovat libovolně. Ale pokud se toto hodnocení odehrálo jako konvenční model založený na křížení názorů a přednostech celé řady expertů, sledujících stejnou ekonomickou realitu, pak ono má význam pro modelování ekonomického objektu spolu s údaji o samotném objektu.

Při modelaci procesu hodnocení rizik projektů PPP v podmínkách podstatné nejistoty považuji za vhodné a užitečné použít pro účely předkládané práce **principy teorie neurčitých množin.** Aby se nejistota ohodnotila kvantitativně, musíme se naučit ji modelovat, stanovením hranice mezi poznatelným a nepoznatelným. Což je **druhá cesta strategického ústupu** vědy v průběhu zkoumání nejistoty v ekonomice. Dříve byli vědci nuceni se vzdát klasické pravděpodobnosti ve prospěch pravděpodobnosti subjektivní. Teď už i subjektivní pravděpodobnost přestává badatelům vyhovovat, protože obsahuje příliš hodně subjektivního znaleckého hodnocení a příliš málo informace o tom, jak bylo toto hodnocení získáno. Výše uvedené důvody vedly ke vzniku **nového**

strategického nástupu spočívajícího v tom, že při modelování se místo axiologických pravděpodobností použije teorie neurčitých množin. Níže uvádím hlavní důvody použití neurčitých množin při modelování integrovaného rizika projektu:

- Neurčité množiny ideálně popisují subjektivní „aktivitu“ experta.
- Neurčitá čísla (druh neurčitých množin, viz 4. část této práce) se ideálně hodí pro modelování faktorů v době, kdy jejich budoucí hodnocení je ztíženo (je nezřetelné, nemá dostatek pravděpodobnostních základů). Proto veškeré scénáře týkající se jednotlivých faktorů rizika mohou být spojeny do jednoho souhrnného scénáře v podobě trojúhelníkového neurčitého čísla, kde se vyčleňují tři body: minimálně možný, nejočekávanější a maximální možný význam parametru. Přičemž jednotlivé scénáře ve struktuře souhrnného scénáře se vytvářejí jako funkce příslušnosti úrovně daného faktoru k neurčité množině (universu). Veškeré jazykové proměnné vyjádřené jazykovými výrazy může expert transformovat do popisu v matematickém jazyce.
- Při modelování hodnocení rizika projektu je možné použít také pravděpodobnostní popisy, jako např. pravděpodobnostní rozdělení s neurčitými parametry, kde trojúhelníkové parametry rozdělení se určují na základě procedury určení stupně pravdivosti.

Počet publikací o použití neurčitých množin v ekonomické a finanční analýze narůstá lavinovitě. Mezinárodní asociace International Association for Fuzzy-Set Management & Ekonomy (SIGEF) pravidelně aprobuje nové výsledky v oblasti neurčitě-množinových ekonomických výzkumů.

5.3 Metodologické problémy propojenosti a rozhraničení pokročilých přístupů při operování s nejistotami

Pochopení nutnosti přípravy efektivního matematického aparátu pro práci s nejistotami, pochopení nedostatků teoreticko-pravděpodobnostních metod, vedlo v posledních 30 letech k bouřlivému vývoji a vytvoření řady nových vědeckých oborů: intervalové matematiky, teorie neurčitých množin a teorie pravděpodobnosti, Shafer [46]. Tyto směry nepopírají, ale naopak zobecňují tradiční postupy. V práci Yagera [54] se také ukazuje, že teorie pravděpodobnosti je zvláštním případem teorie možnosti a matematickým základem teorie možnosti je teorie neurčitých množin.

Velice perspektivní pro matematickou formalizaci nejistot je také teorie přibližných množin Pawlaka, Pawlak [44], která na základě závěrečných znaleckých posudků o stavu systému a objektivním nebo subjektivním hodnocení jeho parametrů umožňuje sestavit algoritmy

prognózování na základě procedur logického usuzování. V aplikacích se úspěšně používá řada přístupů na základě teorie přibližných a neurčitých množin. V současné době se postupně vyjasňuje, jaké přístupy, v jakých situacích a v jakém spojení se musí použít. Veškerý tento souhrn nových teorií a metod (včetně klasické teorie pravděpodobnosti) směřuje k přirozenému spojení do všeobecné **teorie analýzy nejistoty**.

Tento proces není u konce a z celé rozmanitosti nových teorií a metod operování s nejistotami se nejvíce v praktických přílohách rozšířily metody teorie neurčitých množin (a spojená s ní teorie možnosti) a aplikované intervalové analýzy.

Základním problémem matematické formalizace nejistých parametrů složitých systémů a jednotných kritérii je reprezentace různých neurčitých charakteristik v jednotné univerzální podobě. V praxi při formálním popisu nejistoty se nejčastěji používají tři hlavní způsoby prezentace. Nejisté charakteristiky mohou být zadány **neurčitými intervaly, určitými intervaly** nebo **rozdělením pravděpodobnosti.** Symbióza posledních dvou představuje **intervalově-pravděpodobnostní** způsob formalizace nejistoty.

Největší nejistota a v souvislosti s tím nejmenší obsah užitečné informace se vyskytuje při popisu neznámých parametrů určitými intervaly. Tento způsob formalizace odpovídá situaci, kdy jsou poměrně přesně známy pouze hranice přípustných významů analyzovaného parametrů, ale chybí jakákoliv kvantitativní nebo kvalitativní informace o možnostech (pravděpodobnostech) realizace jeho různých významů uvnitř zadaného intervalu. Jelikož mluvíme o určitých intervalech, žádné jiné rozdělení, kromě rovnoměrného, nemá význam.

Ale pro vybudování intervalově-pravděpodobnostního modelu musíme mít velký rozsah výchozí statistické informace. Ve většině případů bývá buď nedostatek informace, nebo tato informace může mít neurčitou povahu, tj. je podaná v podobě intervalových významů nebo funkcí příslušnosti. Nedostatek objektivní informace o rozdělení parametrů vede k nutnosti posoudit subjektivní hodnocení pravděpodobností různých řešení. Expert určuje pro každé možné řešení nějaké číslo, které splňuje všechny vlastnosti pravděpodobnosti a je expertovým hodnocením možnosti odehrání se dané události. Analýze chování s přihlédnutím k subjektivním pravděpodobnostem je věnována práce L.Savage (1954) Základy statistiky (The Foundations of Statistics). Na výzkumy Savage navázali v roce 1963 F.Anskombe a R.Auman, kteří navrhli jednodušší axiomatiku spojující jak objektivní tak subjektivní pravděpodobnosti do jedné teorie. Použití subjektivních pravděpodobností a neurčitého přístupu při modelování ekonomických jevů v podmínkách nejistoty je často ztíženo neexistencí u experta základu pro určení toho či onoho rozdělení ke konkrétnímu ekonomickému parametru. V této souvislosti má důležitou pozici takzvaná intervalová nejistota, která dovoluje zapojit širší třídu modelů s neúplnou informací. Pro experta jsou jedinou dostupnou informací horní a spodní hranice možných významů nejistých

parametrů. Zdůrazňují, že hranice intervalů mají také subjektivní původ a jsou spojeny s fenoménem vnímání.

Je zřejmé, že situace intervalové nejistoty vyjádřené intervalově-pravděpodobnostním způsobem formalizace poskytuje expertovi větší svobodu v interpretaci řešení úkolů. Intervalové pravděpodobnosti se mohou používat pro popis nejistoty statistických výsledků, vznikajících v důsledku nepřesnosti informace. Tento přístup použil Kyburg ve svých článcích v roce 1974 a 1997: „Jelikož naše statistické znalosti nejsou přesné, můžeme nejistotu vyjádřit intervaly“, elektronický odkaz Kyburg H. [1].

Neurčitě-intervalový (neurčitý) matematický popis nejistých veličin se uskutečňuje za pomoci standardních charakteristických funkcí - funkcí příslušnosti. Neurčitě-intervalová a obyčejná intervalová matematika jsou těsně spojeny, kromě toho, intervalová aritmetika se může posuzovat jako základ neurčitě-intervalové matematiky.

Hlavní praktickou předností aparátu intervalové a neurčitě-intervalové matematiky je možnost provedení přímých aritmetických operací s určitě-neurčitými intervalovými čísly. Četné pokusy určit takové operace pro parametry zadané frekvenčním rozdělením byly neúspěšné. Neurčitě-intervalovou matematiku můžeme v určité míře zkoumat jako zobecnění matematiky obyčejných intervalů. Jak již bylo uvedeno ve 4. části této práce, neurčitě-intervalovou matematiku můžeme představit jako rozložení neurčitých intervalů na komponenty α-řezů a dále s nimi operovat v rámci intervalové matematiky.

Při existenci dodatečné kvalitativní informace o významech parametru uvnitř intervalu, kdy například ve verbální rovině je známo, že význam *a* v některém smyslu bude přednostnější, než *b,* bez kvantitativního hodnocení poměru, může být matematická formalizace nejistot adekvátně realizována za pomoci neurčitých intervalů lichoběžníkového tvaru, Zadeh [57]. V případech, kdy vztahy mezi možnostmi realizace různých významů parametru můžeme charakterizovat:

- konkrétními čísly, neurčité intervaly se transformují do pravděpodobnostních rozdělení, Zadeh [57];

- když máme jeden význam parametru a = b, pak neurčitý interval se transformuje do neurčitého čísla.

Jelikož při modelování reálných systémů se musí zpravidla současně používat všechny tři základní způsoby formalizace – intervalový, neurčitě-intervalový (neurčitý) a pravděpodobnostní, vzniká problém převedení různých popisů nejistot k jednotné podobě prezentace. Převedení neurčitě-intervalové nejistoty do podoby frekvenčních rozdělení není možné, jelikož v tomto případě chybí potřebná kvantitativní informace. Teoreticko-pravděpodobnostní metodologie dovoluje fakticky operovat pouze s některými charakteristikami frekvenčních rozdělení (střední

očekávaná hodnota, rozptyl atd.), a ne s výchozím rozdělením hustoty pravděpodobnosti jako s množinou.

Odklonění frekvenčního rozdělení k některému souboru číselných charakteristik jako je aritmetický průměr, mediána, modus atd.,vede ke značné ztrátě výchozí informace (a v některých případech) ke zkreslení kvalitativního obrazu zkoumaných jevů. Například, střední očekávanou hodnotu v případě nesymetrického rozdělení pravděpodobností nemůžeme posuzovat jako sémanticky správný termín, jelikož tato hodnota není nejpravděpodobnějším významem náhodné veličiny. V těchto situacích vznikají analogické potíže s interpretací směrodatných odchylek atd. Východiskem z popsané situace by bylo vybudování aritmetiky, která by dovolovala bezprostředně operovat s frekvenčními rozděleními jako s množinami. Ale z různých důvodů, nehledě na opakované pokusy různých autorů, se nepodařilo takovou aritmetiku vybudovat. Ve světové literatuře chybí údaje o existenci konstruktivní metodiky operování s frekvenčními rozděleními.

S ohledem na výše provedenou analýzu způsobu formalizace nejistoty je možne odhalit řadu **nedostatků** každé z nich, zejména:

- v **pravděpodobnostním modelu** při omezeném množství statistické informace vzniká problém opodstatněnosti použití modelových pravděpodobnostních rozdělení;
- v **intervalovém modelu** se nejistota popisuje hranicemi možných významů. Ale intervalové proměnné tvrdě omezují možné významy ve svých hranicích a neukazují jakékoliv pravděpodobnosti realizace konkrétních významů uvnitř intervalu;
- při **neurčitě-intervalovém (neurčitém)** matematickém popisu nejistých veličin se používají funkce příslušnosti, které ve většině případů mohou být určeny subjektivně, na základě přibližného hodnocení experta. Zásadním nedostatkem aparátu neurčitě-intervalové matematiky je srovnatelně „rychlý růst“ nosiče výsledného fuzzy čísla podle míry růstu aritmetických operací s intervaly.

Proto jsou v této práci jako základní univerzální způsoby prezentace nejistot uvedeny **neurčitě-intervalový (neurčitý)** a **intervalově-pravděpodobnostní** přístupy.

Pro ověření předpokladu o vhodnějším použití neurčitého přístupu před intervalově-pravděpodobnostním bylo provedeno porovnání dosažených výsledků za použití různých typů pravděpodobnostních rozdělení a funkcí příslušnosti, zejména zkoumání výsledného ukazatele v citlivosti na tyto změny.

V reálných situacích, kdy statistická informace často chybí, se funkce příslušnosti jednotlivých kritérií vytvářejí bezprostředním dotazováním expertů. Na základě praxe a intuice mohou experti často s dostatečnou jistotou kvantitativně zcharakterizovat hranice (intervaly) přípustných významů parametrů a oblasti (body) jejich nejpreferovanějších hodnot. Tato tvrzení expertů fakticky určují tři hlavní body, na jejichž základě se vytváří trojúhelníkové funkce příslušnosti. V závislosti na hodnotě souřadnic základních bodů mohou funkce příslušnosti mít různou podobu.

Při použití neurčitých čísel v prognóze parametrů investičního projektu se od experta vyžaduje, aby nevytvářel bodové pravděpodobnostní hodnocení, ale zadával výpočtový koridor hodnot prognózovaných parametrů. Očekávaný efekt se hodnotí expertem stejně jako neurčité číslo se svým výpočtovým rozšířením (mírou nepřesnosti). Tady vznikají inženýrské přednosti metody, založené na neurčitostech, jelikož expert operuje přímými projektovými údaji o rozhození parametrů, což není nic jiného, než dobře známá praxe intervalového přístupu k projektovému hodnocení. Když se vstupní údaje matematického modelu charakterizuji jako statistická báze, pak není nic lepšího, než zkoumat tuto statistiku na základě pravděpodobnostních modelů. Ale pokud statistika chybí, pak expert stojí před těmito možnostmi:

- odmítnout použití pravděpodobnosti při modelování (ale zůstat, například, v mezích intervalových přístupů, které znamenají druh expertních metod). Expert předpokládá, že pozorovaný parametr může libovolně kolísat v mezích některého intervalu. A veškeré svoje následující závěry dělá expert na základě tohoto intervalového hodnocení.

- zahrnout do modelu subjektivní (axiologické) pravděpodobnosti a pravděpodobnostní rozdělení. Pak přichází v úvahu otázka opodstatnění výběru těchto hodnocení, uskutečněného v rámci specializovaného expertního modelu.

- vzít v úvahu nejistotu jako neurčitost dvěma cestami: přechod od klasických pravděpodobnostních rozdělení k pravděpodobnostním rozdělením s neurčitými parametry nebo náhrada kvantitativních pravděpodobnosti popisnými.

Na straně pravděpodobnostních metod tak zůstává tradice, a na straně neurčitě-množinových přístupů pohodlí spojené s inženýrským uplatněním a zvýšený stupeň opodstatnění, jelikož neurčitě-množinový propočet zahrnuje veškeré možné scénáře vývoje událostí (vytvářející nepřetržité spektrum).

5.4 Srovnávací analýza neurčité a intervalově-pravděpodobnostní metody formalizace nejistoty

5.4.1 Znalecké posudky při vytvoření scénářů možných dopadů rizik projektu

V předkládané práci jsem prozkoumala stanovení ukazatelů možné škody v důsledku příchodu jakékoliv rizikové události na příkladu výstavby a provozu placeného dálničního okruhu pomocí neurčité a intervalově-pravděpodobnostní analýzy, které umožňují řešit úkoly prognózování možných parametrů škody. Iinformace o možných scénářích dopadu škody je vyjádřena v podobě intervalového hodnocení.

Daný projekt pochází z reálné hospodářské praxe. Uplatnění intervalově-pravděpodobnostního přístupu k analýze rizika tohoto investičního projektu si kladlo za cíl prozkoumat dosažení ukazatele rozpočtové efektivity projektu (VfM) realizovaného formou koncese, a to v rovině kvalitnějšího hodnocení rizik ovlivňujících daný ukazatel (viz kapitola 3). Výsledky se stalý významným podkladem pro manažerská rozhodnuti ministerstva dopravy RF o formě realizace tohoto projektu. Pro návrh jednotlivých scénářů jsem použila výstupy z expertní analýzy, přičemž tým expertů byl tvořen kolektivem pracovníků z Ředitelství silnic a dálnic Ruské Federace s dlouholetými zkušenostmi v oboru. Pro projekt bylo vytvořeno několik scénářů možných dopadů podstatných rizik při výstavbě i provozu placené dálnice. Při tvorbě scenářů experti dokázali odhadnout určité intervaly dopadu rizika se stanovením jejich horních a spodních mezí a také pravděpodobnost výskytu určitého scénáře dopadu. Výsledek expertních odhadů možných scénářů dopadu uvádějí přílohy k 5. kapitole č.1 a č.2. Po sestavení scénářů dopadů významných rizik projektu vyjadřujících absolutní hodnoty dopadů určitých scénářů (bez výskytu rizika, malé navýšení nákladů, střední navýšení nákladů, velké navýšení nákladů) s pravděpodobnostmi jejích výskytu byly návazně použity pokročilé způsoby hodnocení rizik:

- souhrn stanovených scénářů dopadů rizik byl podroben simulaci Monte Carlo;
- stanovené scénáře dopadů rizik byly vyjádřeny neurčitými čísly/intervaly, se kterými byly provedeny aritmetické a logické operace na základě neurčité matematiky a neurčité logiky pomocí vybraného fuzzy inferenčního systému.

Při detáilním zkoumání jsem přišla k závěru, že každý z těchto způsobů má své nevyřešené problémy, které se dále pokusím zformalizovat a najít způsob jejích eliminace. Aby výsledky bylo možné použít pro ověření mého předpokladu, byly vytvořené scenáře dopadů rizik stejné pro oba způsoby hodnocení rizik. Scénáře se liší pouze v posledním bodě, ve kterém provedu testování výsledků na citlivost změn provedených v každém ze způsobů a to následovně:

- v intervalově-pravděpodobnostním způsobu budou použity různé typy pravděpodobnostních rozdělení pro rizikové proměnné;

- v neurčitém způsobu scénáře dopadů budou vyjádřeny trojúhelníkovou a Gaussovou křivkou příslušností.

Etapy (fáze) formování scénářů dopadu rizik jsou popsány níže:

1. Rizika projektu se dělí na rizika veřejného sektoru a rizika koncesionáře. **Následující analýza se provádí pro dvě skupiny rizik, rizik převedených a rizik zadržených.**

2. Určuje se vyměřovací **základ rizik,** tj. parametry projektu, na nichž působí rizika. Například, riziko překročení lhůty výstavby má za následek zpoždění uvedení dálničního okruhu do provozu, v důsledku čehož veřejný sektor získá nižší výnos z výběru poplatků za průjezd (základ rizika je tržba za první rok provozu, protože se předpokládá zpoždění v uvedení silnice do provozu v průběhu jednoho roku.)

3. Základy rizik se vypočítávají pro **každý rok vzniku rizika.** Například, riziko překročení výdajů na výstavbu vzniká pouze ve fázi výstavby, protože ve fázi PSO (projektování, příprava staveniště a vyřízení dokladů) a provozu se rovná nule.

4. Stanovení **scénáře výskytu konkrétního dopadu rizika na vyměřovací základ.** Například, beze změn, malá změna nákladů, střední změna nákladů, velká změna nákladů.

5. Pro scénáře stanovené expertní cestou nebo na základě historických statistických údajů, se hodnotí **výše dopadu** v procentech od základu. Pro scénáře „beze změn“ se výše dopadu rovná nule.

6. Stanovení pravděpodobnostního **rozdělení** rizikové události pro intervalově-pravděpodobnostní způsob. Neurčitý popis rizikové události byl vyjádřen pomocí **funkce příslušnosti.**

5.4.2 Problémy použití intervalově-pravděpodobnostního způsobu při modelování hodnocení rizik projektu metodou simulace Monte Carlo

Pro kvantitativní hodnocení rizik pokročilou metodou se v praxi nejčastěji používá simulační modelování metodou Monte Carlo. Rozšíření této metody pro hodnocení rizik je podmíněno tím, že při neexistenci historických údajů tato metoda dovoluje generovat větší počet pozorování odpovídajících stanovenému pravděpodobnostnímu rozdělení. Proto zajišťuje statistickou přesnost výpočtů. V Rusku je praxe infrastrukturnich projektů PPP v začátečním

stádiu vývoje a chybí statistika týkající se analogických projektů. Proto pro hodnocení rizik projektu výstavby a provozu placeného dálničního okruhu byla použita metoda Monte Carlo.

Algoritmus metody Monte Carlo zjednodušeně.

Vznik rizika je náhodnou hodnotou, pro niž se exogenně stanovuje rozdělení (rozsah dopadu a pravděpodobnosti vzniku) v souladu s znaleckým posudkem nebo historickými údaji.

Vytvořením scénářů dopadu rizik na projekt se vypočítává deterministická hodnota každého rizika jako souhrn vážených pravděpodobností dopadů stanovených scénářů viz postup hodnocení kap. 4.3.2, příklad v přílohách č. 1 a 2 k 5. kapitole.

Pak se sestavuje finanční model rizik v podobě souhrnu deterministického odhadu průměrného očekávaného dopadu každého rizikového faktoru se zřetelem na rok výskytu rizikové udalosti. Klíčovým parametrem je očekávaná čistá současná hodnota celkových dopadů rizik (zadržených a převoditelných zvlášť!) na projekt. Vzor konstrukce finančních modelů zadržených a převedených rizik je uveden v přílohách č. 3 a 4 k 5. kapitole.

Znalec expertně určuje korelace mezi rizikem a autokorelace mezi hodnocením rizika podle roků realizace projektu. Například, riziko změny rozpočtových výdajů na stavební práce se charakterizuje kladnou korelací s rizikem chyb v projektové a pracovní dokumentaci. Příkladem autokorelace může být riziko překročení provozních výdajů, které se charakterizuje kladnou autokorelací: pokud v jakémkoliv roce přesáhnou provozní výdaje rozpočet, pak i v následujícím roce existuje riziko toho, že výdaje na provoz objektu budou překročeny.

Za pomoci programového zabezpečení Crystall Ball se generují realizace náhodného procesu pro všechna rizika v souladu se stanovenými charakteristikami rozdělení. Získané výsledky realizace náhodného procesu (v cenovém vyjádření) se diskontují podle roků realizace projektu pomoci diskontní sazby pro stát a potom se vypočítávají ukazatelé NPV rizik veřejného sektoru a koncesionáře, viz. kap.3. Po opakování velkého počtu náhodné generace se vytváří funkce pravděpodobnostního rozdělení NPV rizik projektu. 20 000 vygenerovaných hodnot NPV rizik se uspořádají podle narůstání. Mediánní význam (znamená, že s pravděpodobnosti 50 % nepřekročí negativní dopad rizik určitou hodnotu), se používá jako výsledné hodnocení rizik. Pro grafickou prezentaci výsledků se rozsah hodnot NPV rizik od minimálního k maximálnímu dělí na intervaly stejné velikosti. Pro každý interval se vypočítá četnost, tj. poměr počtu hodnot, spadajících do tohoto intervalu, k celkovému množství hodnot (v tomto případě – 20 000). Tyto výsledky se prezentují graficky ve tvaru histogramu, kde na ose *x* se vynáší nodnota NPV rizik, a na ose y četnost.

Pro provedení kvantitativní analýzy rizik byla výše uvedená metodika provedena zvlášť pro

každou variantu realizace projektu jak v podobě státní zakázky tak i v podobě PPP (koncese). Předpokládá se, že realizace projektu v podobě PPP zajistí snížení pravděpodobnosti a dopadu rizika převedených na koncesionáře ve srovnání s variantou státní zakázky z důvodu efektivnější správy projektu soukromým sektorem. Díky zájmu soukromého sektoru o snížení doby návratnosti investic a obdržení vyšší míry výnosnosti se zkracuje lhůta realizace a optimalizují se náklady. Tyto předpoklady vycházejí ze světové praxe infrastrukturních projektů PPP.

Určení pravděpodobnostního rozdělení rizikové události. Customizované pravděpodobnostní rozdělení.

V současnosti se publikují polemické materiály týkající se propočtu hodnocení rizik projektu, v nichž se uvádí, že použití statistických metod je při nedostatečné statistice nesprávne. Tyto názory se zakládají na následujících tvrzeních:

- Hypotéza o normálním rozdělení se v praxi zdaleka ne vždy plní a buď se nekontroluje, nebo se provádí kontrola malého výběru.

- Nejistota údajů může mít nestatistickou podstatu a zahrnovat systematickou složku, chyby v zaokrouhlení a třídění údajů, což je charakteristické při hodnocení rizik projektu. A pokud chyby experimentu jsou náhodné, pak tyto chyby zpravidla fungují neaditivně a mění se v čase, tj.vytvářejí nestálý náhodný proces, což činí pojem generálního souhrnu neopodstatněným.

- Statistika používaná při hodnocení rizik projektu, zejména projektu realizovatelného v podobě PPP, ne vždy disponuje potřebným počtem údajů, někdy tyto údaje chybí vůbec.

V mnoha situacích jsou dostačující tři různé „polohy“ expertního odhadu, kterými jsou minimum, maximum a nejpravděpodobnější hodnota sledované veličiny. Nejdříve se analyzují scénáře vedoucí k hranicím možného intervalu až pak, po vyjasnění intervalu možných hodnot, určíme hodnotu, která je nejpravděpodobnější. Pokud nedisponujeme příliš zřejmou představou o možných hodnotách rizikových faktorů, je rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti nejvíce vhodným při popisu intervalů možných hodnot. Ale jak bylo řečeno výše, toto rozdělení neposkytuje dostatek informovanosti o pravděpodobnosti hodnot uvnitř stanoveného intervalu. Rovnoměrné rozdělení je vhodné použít pouze za situace, kdy máme představu jen o maximálních a minimálních hodnotách rizikových faktorů, tj. o určitém intervalu hodnot, aniž bychom ale byli schopni soudit, která z nich je pravděpodobnější, Hnilica, Fotr [16].

Za použití programu Crystall Ball zvolíme rozdělení rizikových proměnných, které se ze statického

hlediska co nejpřesněji hodí pro modelování. Jak bylo uvedeno v kap.4 stanoví se v závislostí na dostupnosti historických statistických dat objektivní či subjektivní rozdělení pravděpodobnosti rizikových faktorů, Hnilica, Fotr [19]. Pokud se ani jeden typ z nabídky typů rozdělení pravděpodobnosti programu Crystall Ball nehodí pro popis nejistoty kolem proměnných modelu (což se děje v tomto případě z důvodu neexistence dostatečného statistického výběru anebo pokud názor experta není konformní se žádným z běžných rozdělení) potom se používá **rozdělení custom**. Jím lze popsat unikátní situace pomocí definice jednotlivých hodnot, spojitých nebo diskrétních intervalů. Výchozí informace o faktorech nejistoty se prezentuje v podobě pravděpodobnosti jednotlivých scénářů nebo intervalů změn těchto pravděpodobností. Protože zvažujeme intervaly dopadu možných hodnot, je vhodnější zvolit v parametrech rozdělení continuous ranges. Intervaly jednotlivých scénářů a jejich pravděpodobnost byly zapůjčeny z katalogu rizik vypracovaného v Evropské Unii na základě analogických projektů realizovaných v EU a upravených skupinou expertů pro podmínky Ruské federace. Takže při použití rozdělení definovaného uživatelem custom rozdělení, může být problém adekvátního použití rozdělení parametrů rizikového faktoru bez dostatečné statistické základy částečně vyřešen. Pro ověření mého předpokladu o citlivosti výsledného ukazatele v intervalově-pravděpodobnostním způsobu byly použity dvě varianty simulace v programu Crystall Ball. **V první variantě byly použity různé typy pravděpodobnostních rozdělení a to v závislosti na znalosti, zkušenosti a intuici experta. Ve druhé variantě byl použit customizovaný typ rozdělení pro všechny modelované rizikové faktory.** Výběr nejvhodnějšího typu rozdělení je založen na logické volbě související s charakterem zkoumaného rizikového faktoru, popsaném tvarem a charakteristikou rozdělení. Mezi nejčastější využívaná rozdělení patří trojúhelníkové, betaPERT a rovnoměrné rozdělení.

Další otázka, kterouje nutné vyřešit při použiti intervalově-pravděpodobnostního přístupu, je stanovení koeficientů korelací mezi určitými rizikovými faktory. Vzájemná závislost faktorů rizika byla rovněž odhadována na expertním základě, kde tým expertů dospěl k závěru, zda se jedná o slabou, střední nebo vysokou, přímou nebo nepřímou závislost rizikových faktorů. Takto byly přiřazeny jednotlivým párům korelační koeficienty pro riziko překročení nákladů na výstavbu dálnice a riziko výskytu chyb projekční a pracovní dokumentace na úrovni [+0.7] pro přímou korelaci. Autokorelace po sobě následujících veličin v časovém prostoru, tj. spojitost výskytu rizika mezi určitými roky, byla označena za střední a byly ji přiřazeny korelační koeficienty na úrovni [0,25 s postupným navýšením do 0,3 ke konci doby trvání projektu], pro riziko převýšení nákladů na údržbu a pro riziko překročení rozpočtových nákladů na výstavbu [0.6], pro riziko výskytu chyb v projekční a pracovní dokumentaci [0.5].

Již bylo řečeno, že klíčovým parametrem, který je zkoumán pomoci simulace Monte Carlo, je očekávaná čistá současná hodnota celkového možného dopadu rizik. Pomocí ní se dá posoudit

vhodnost implementace projektu formou koncese anebo veřejné zakázky jinak řečeno, posuzujeme rozpočtovou efektivitu projektu.

5.4.3 Problémy při modelování hodnocení rizik projektu pomocí neurčitého přístupu

Fuzzy inferenční systém

Fuzzy inferenční systém je aproximace závislosti „vstup-výstup“ na základě jazykových výrazů „Když - potom“ a aplikace logických operátorů - AND, OR, NOT (A, NEBO, NE) nad neurčitými množinami.

Fuzzy inferenční systém se používá při modelování spojitých a diskrétních objektů.

Typová struktura fuzzy inferenčního systému je uvedena na obrázku 4.4, viz kap.4 a obsahuje následující modely:

- fuzzifikace údajů - mění vektor vstupních údajů (X) na vektor neurčitých množin $\tilde{X}$,potřebných pro fuzzy aproximaci;
- báze podmíněných pravidel obsahující informaci o závislosti Y=f(X) se skládá z proměnných pravidel typu „Když-potom“;
- funkce příslušnosti představují přiřazení jazykovým proměnným hodnoty, které se vztahují k neurčitým množinám;
- proces fuzzy inferenčního systému, který na základě báze podmíněných pravidel určuje hodnotu proměnné v podobě neurčité množiny $\tilde{Y}$, odpovídající neurčitým hodnotám vstupních proměnných ($\tilde{X}$);
- defuzzifikace převádí vstupní neurčitou množinu $\tilde{Y}$ do ostré hodnoty Y.

Neurčitou bází znalostí se nazývá souhrn fuzzy pravidel typu „Když-potom“ definujících vzájemný poměr mezi vstupy a výstupy. Formát neurčitých pravidel je následující:

KDYŽ - je formulace pravidla, POTOM - je závěr pravidla.

Formulace pravidla nebo antecedent je výrokem typu „X je nízký“, kde „nízký“ je term (viz úvod str.6) zadaný neurčitou množinou na univerzální množině jazykovou proměnnou x. Evaluační jazykové výrazy „velmi“, „ne“, „skoro“, „víceméně“ a jiné se mohou používat pro modifikaci termu antecedentu (pro přinesení určitého efektu). Závěr pravidla nebo konsekvent – to je fakt typu „y je D“, v němž hodnota výstupní proměnné se může zadávat, například:

- Neurčitým termem - „y je vysoký“;
- Typem rozhodnutí - „y je bronchitida“;

- Přesnou konstantou - „y = 5“;
- Přesnou funkcí proměnných - „y = 5 + 4x“.

Pokud výstupní proměnná je zadaná jako neurčitá množina, pak pravidlo může být prezentováno fuzzy relací. Pro fuzzy pravidlo „Když x je $\widetilde{A}$, potom y je $\tilde{B}$“ fuzzy relace $\tilde{R}$ se zadává v kartézském součinu $U_x \times U_y$, kde U_x a U_y jsou univerzální množiny vstupní a výstupní proměnné. Pro výpočet fuzzy relace můžeme použit fuzzy implikaci nebo t-normu. Při použití t-normy se operace minima výpočtu fuzzy relace $\tilde{R}$ provádí takto:

$$\mu_{\tilde{R}}(x,y) = \min\left(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y)\right), (x,y) \in U_x \times U_y. \quad (5.3)$$

Mnohorozměrné závislosti „vstupy - výstupy“ se zadávají fuzzy pravidly s logickými operátory AND (A) a OR (NEBO). Například, „Když x_1 = „nízký“ A „x_2 = „střední“A „x_3 = „velmi vysoký “, potom y = „vysoký“. Neurčitou bázi znalosti, spojující vstupy X = ($x_1, x_2,\ldots, x_n$) s výstupem y, prezentujeme takto:

$$(x_1=\tilde{a}_{1j}\ \ \Theta_j\ x_2=\tilde{a}_{2j}\ \Theta_j \ldots\ \Theta_j\ \ x_n=\tilde{a}_{nj}) \Longrightarrow y = d_j,\quad j=\overrightarrow{1,m}, \quad (5.4)$$

kde $\tilde{a}_{ij}$ – je neurčitý term, kterým se hodnotí proměnná x_i v j-tém pravidle j=$\overrightarrow{1,m;}$ d_i je závěr j-tého pravidla; m je počet pravidel v bázi znalosti; Θ je logický operátor spojující části antecedenta j-tého pravidla (tím může být logický operátor A a NEBO); $\Longrightarrow$ - fuzzy implikace.

Pokud pravidla obsahují pouze logické operátory A, pak je vhodné zapsat neurčitou bázi znalostí v podobě tabulky:

Tab. 5.2 Neurčitá báze znalostí

KDYŽ				POTOM
x_1	x_2	…..	x_n	y
$\tilde{a}_{11}$	$\tilde{a}_{21}$	…..	$\tilde{a}_{n1}$	d_1
$\tilde{a}_{12}$	$\tilde{a}_{22}$	…..	$\tilde{a}_{n2}$	d_2
…..	…..	…..	…..	…..
$\tilde{a}_{1m}$	$\tilde{a}_{2m}$	…..	$\tilde{a}_{nm}$	d_m

Zdroj: tabulka vlastní

Míru přesvědčení experta o adekvátnosti pravidel počítáme pomocí koeficientů vah.

Zadehovo pravidlo kompozice fuzzy relace

Pokud je známa neurčitá relace $\tilde{R}$ mezi x a y, potom se při neurčitých hodnotách vstupní proměnné x = $\tilde{A}$ neurčitá hodnota výstupní proměnné y určuje takto:
$y = \tilde{A} \circ \tilde{R}$, kde znaménko «$\circ$» je max-min kompozice.

Toto kompoziční pravidlo Zadého činí základ různorodých algoritmů fuzzy inferenčního systému.

Fuzzy inferenční systém typu Mamdani

Fuzzy inferenční systém typu Mamdani se realizuje podle báze znalostí, v níž jsou veškeré hodnoty vstupních a výstupních proměnných zadané neurčitými množinami.

Báze znalostí Mamdani se může traktovat jako rozdělení prostoru ovlivňujících faktorů na podoblasti s nejasnými hranicemi, uvnitř kterých funkce odezvy přebírá neurčitou hodnotu. Pravidlo v bázi znalostí je „granulí znalostí“, odrážející jednu ze zvláštností závislosti „vstupy-výstupy“. Takového „granule nasycené informacemi“ se mohou posuzovat jako analog verbálního kódování. Možná proto se vytváření neurčité báze znalostí typu Mamdani obvykle nesetkává u expertů s potížemi.
Uvádím označení nezbytné pro další popis systému:

- $\mu_j\,(x_i)$ – funkce příslušnosti **vstupu** $x_i \in \left[\underline{x}_i, \overline{x}_i\right]$ neurčitému termu $\tilde{a}_{ij}$, tj.
  $\tilde{a}_{ij} = \int_{x_i \in [\underline{x}_i \overline{x}_i]} \mu_j \frac{(x_i)}{x_i}$;
- $\mu_{dj}\,(y)$ – funkce příslušnosti **výstupu** $y \in \left[\underline{y}, \overline{y}\right]$ neurčitému termu $\tilde{d}_j$, tj.
  $\tilde{d}_j = \int_{y \in \left[\underline{y}, \overline{y}\right]} \mu_{dj}\,(y)/y$.

Míra splnění *j*-tého pravidla pro běžný vstupní vektor $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ se vypočítává takto:

$$\mu_j(X^*) = w_j\left(\mu_j(x_1^*)\chi_j\ \mu_j(x_2^*)\chi_j \dots \chi_j\ \mu_j(x_n^*)\right), \quad j = \overline{1,m}, \tag{5.5}$$

kde χ_j znamená *t – normu,* pokud v *j*-tém pravidle báze znalosti se používá logický operátor A (Θ_j = A), a odpovídá *s-normě* při Θ_j = NEBO. Ve fuzzy inferenčním systému Mamdani se trojúhelníkové normy realizují operacemi minima (*t-norma*) a maxima (*s-norma*).
Výsledek fuzzy inferenčního systému je možné prezentovat v této podobě:

$$\tilde{y}^* = \left(\frac{\mu_1(X^*)}{\tilde{d}_1}, \frac{\mu_2(X^*)}{\tilde{d}_2}, \dots, \frac{\mu_m(X^*)}{\tilde{d}_m}\right) \tag{5.6}$$

Zvláštnost této neurčité množiny je v tom, že jejím nosičem je množina neurčitých termů $\{\tilde{d}_1, \tilde{d}_2, \dots, \tilde{d}_m\}$. Pro přechod k neurčité množině na nosiče $\left|\underline{y}, \overline{y}\right|$ se provádějí operace implikace a agregace.

V důsledku fuzzy inferenčního systému podle *j*-tého pravidla báze znalostí získáme tuto neurčitou hodnotu výstupní proměnné *y*:

$$\tilde{d}_j^* = imp\left(\tilde{d}_j, \mu_j(X^*)\right), \quad j = \overline{1,m}\,, \tag{5.7}$$

kde *imp* je implikace, která se v inferenčním systému obvykle realizuje operací minima, tj. „odříznutí" funkce příslušnosti $\mu_{dj}(y)$ na úrovni $\mu_j(X^*)$. Matematická formule implikace je:

$$\tilde{d}_j^* = \int_{y\in\left[\underline{y},\overline{y}\right]} \min\left(\mu_j(X^*), \mu_{dj}(y)\right) / y \tag{5.8}$$

Výsledek fuzzy inferenčního systému po celé bázi znalostí se hledá pomoci agregace neurčitých množin

$$\tilde{y}^* = agg\left(\tilde{d}_1^*, \tilde{d}_2^*, \dots, \tilde{d}_m^*\right) \tag{5.9}$$

kde agg – je agregace neurčitých množin, která se obvykle realizuje přes operaci maxima.

Určitá hodnota výstupu *y*, odpovídajícího vstupnímu vektoru X^*, se určuje přes defuzzifikaci neurčité množiny $\tilde{y}$.

Uvádím stručný popis výše uvedené metodiky výstavby fuzzy inferenčního systému typu Mamdani.

Proces zpracování se skládá z fuzzifikace, fuzzy inference a defuzzifikace. Reálné proměnné se převádějí na jazykové proměnné, dále se provádí vyhodnocení pravidel a výstupem je jazyková proměnná. Každá proměnná má svoje atributy a funkci příslušnosti. Rozhodování řešené fuzzy zpracováním se skládá z několika kroků:

1. První krok znamená převedení reálných proměnných na jazykové proměnné. Definování jazykových proměnných vychází z lingvistické proměnné, např. u proměnné riziko lze zvolit následující charakteristiky: žádné, nízké, střední, vysoké. Obvykle se používá tři až sedm lingvistických charakteristik proměnné. Příklad definování charakteristik vstupních proměnných ukazuje obrázek 1(příloha č.2 k 6. kapitole).
2. Druhý krok definuje chování systému pomocí pravidel [Když], [Potom], [S vahou] na jazykové úrovni. V těchto algoritmech se objevují podmínkové věty vyhodnocující stav příslušné proměnné. Tyto podmínkové věty mají známou formu z programovacích jazyků [Když] Vstup $_a$ [A] Vstup $_b$ .....Vstup $_x$ [Nebo] Vstup $_y$ ……. [Potom] Výstup $_1$ [S váhou] z, kde $z \in < 0,1 >$.

   Pravidla fuzzy logiky představují **expertní systém**. Každá kombinace charakteristik proměnných vstupujících do systému a vyskytujících se v podmínce [Když], [Potom] představuje jedno pravidlo. Pro každé pravidlo je třeba určit stupeň podpory, tj. váhu pravidla v systému *z*. Výsledek systému s fuzzy logikou závisí do značné míry na správném určení významu definovaných pravidel. Váhu těchto pravidel lze v rámci průběhu optimalizace

systému měnit. Podobně jako pro část pravidla umístěného za [Když] je třeba vybrat odpovídající charakteristiku za částí [Potom]. Tato pravidla si tvoří expert sám. Výsledkem fuzzy inference je jazyková proměnná. V případě analýzy rizika mohou mít charakteristiky hodnotu, např. velmi nízké, nízké, střední, vysoké atd., což může vést k výstupům při rozhodování o formě implementace projektu. Příklad definování pravidel na jazykové úrovni ukazuje obrázek 7 (příloha č.2 k 6. kapitole).

3. Třetí krok převádí výsledek předchozí operace fuzzy inference na reálné hodnoty pomocí defuzzifikačního procesu. Reálnou akcí může být stanovení výše rizika. Cílem defuzzifikace je převedení fuzzy hodnoty výstupní proměnné tak, aby slovně co nejlépe reprezentovala výsledek fuzzy výpočtu. Příklad vyhodnocování výstupu celkového rizika projektu pomocí defuzzifikace ukazuje obrázek 9 (příloha č.2 k 6. kapitole).

Problém „přecenění nejistoty“ a jeho řešení

V praxi je hlavní a nejnepřijemnější vlastností intervalové aritmetiky poměrně rychlý růst šíře intervalu výsledku v závislosti na míře růstu počtu aritmetických operací s intervaly. Tato skutečnostbyla důvodem vzniku různých modifikačních metod, jejichž cílem bylo zabránit tomuto jevu. Nejznámější z nich jsou: intervalová aritmetika s nestandardním odčítáním a dělením, Šokin [50], zobecněná intervalová aritmetika, Hansen [16]. Tyto přístupy jsou efektivní vzhledem k určitým kategoriím situací. Většinou růst výsledných intervalů v plné míře odráží realitu a v podstatě odpovídá principu nárůstu nejistoty (entropie). V současné době je zpracováno dostatečně velké množství metodik a číselných algoritmů zajišťujících podstatné snížení výsledných intervalů pro intervalové rozšíření funkcí libovolného typu. Nejpoužívanější metodiky jsou popsány v Luc [28]. Efektu snížení šířky výsledných intervalů je dosaženo zvýšením počtu výpočtů v algoritmech realizujících tyto metodiky. Nejspolehlivějším receptem pro řešení problému růstu šířky intervalů je použití co nejužších výchozích intervalů. V této práci jsem ve výpočtech dosáhla snížení šířky intervalu výsledného ukazatele použitím intervalů, jejichž spodní hranice je zafixována na úrovni nuly. To bylo předurčeno logicky, protože jeden z možných dopadů rizika podle scénáře analýzy je scénář „beze změn“, což znamená nulový vliv.

Problém zohlednění závislosti (vzájemného působení) neurčitých veličin

Dalším problémem, který jsem řešila při provádění aritmetických operací s neurčitými veličinami podle principu rozšíření Zade použitého v této práci, je zohlednění závislosti mezi neurčitými množinami. Výše popsaný princip rozšíření Zade vychází z nezávislosti neurčitých proměnných, které vstupují do vypočítávaného výrazu. Ale v reálních systémech (fyzických, ekonomických atd.) existují různé závislosti mezi vstupními proměnnými. Proto mimořádně aktuální pro další

rozvoj a efektivní použití TNM (teorie neurčitých množin) v reálných praktických úkonech je řešení problému zohlednění závislosti (vzájemného působení) mezi vstupními neurčitými množinami. Analýza literatury [11], [12], [24] ukázala, že tento problém je velmi slabě objasněn ve citované vědecké literatuře.

Nastal značný vývoj teoretické báze zohlednění a modelování závislosti mezi náhodnými veličinami v reálných úkolech (například, hodnocení efektivity a rizika dlouhodobých investičních projektů). Zpravidla však chybí potřebný rozsah statistické informace pro opodstatněné získání konkrétních statistických ukazatelů charakterizujících sílu závislosti mezi náhodnými veličinami, anebo statistika prostě neexistuje. Takže se tento problém ještě komplikuje zohledněním závislosti mezi náhodnými proměnnými, které jsou charakterizovány zákony rozdělení podstatně odlišnými od normálního rozdělení. Tyto problémy jsou podstatným omezením pro získání důvěryhodného výsledku při použití metody Monte Carlo, například v úkolech hodnocení efektivity a rizika dlouhodobých IP.

Ve většině reálných úkolů je možné pomocí metody expertního hodnocení (spolu s malými statistickými údaji, pokud existují) určit charakter závislostí (chybí závislost čili vzájemné působení, narůstající, ubývající) mezi vstupními proměnnými. Sílu závislosti (vzájemného působení) je možné popsat pomocí nastavení vah závažnosti tohoto scénáře v souhrnu scénářů. Pokud použijeme tuto informaci o charakteru a síle závislosti (vzájemného působení) mezi neurčitými proměnnými ve výpočtech, pak můžeme podstatně zlepšit výsledek neurčitého modelování, protože se do výsledku nedostanou **nerealistické scénáře** vývoje událostí. To znamená, že nejistota výsledku získaného v neurčité podobě bude podstatně nižší ve srovnání s bezprostředním použitím standardních pravidel neurčité matematiky (4.18) – (4.21), když se do výsledku dostanou všechny scénáře vývoje událostí při zadaném rozpětí změny vstupních neurčitých proměnných. Přičemž je nutno zdůraznit, že vlastnost pravidel neurčité matematiky, kdy se do výsledku dostanou veškeré možné scénáře vývoje události při zadaném rozpětí změny vstupních neurčitých proměnných, je její předností, protože výsledek poskytne **garantované (zaručené) hodnocení** změny výstupních parametrů. Proto zohlednění závislosti (vzájemného působení) mezi neurčitými proměnnými je účelné, když výsledek získaný podle standardních pravidel neurčité matematiky má příliš velké rozpětí nosiče, což může ztížit přijetí rozhodnutí. Pro zohlednění závislosti (vzájemného působení) mezi neurčitými proměnnými při provedení aritmetických operací navrhuji použit široké spektrum možných scénářů rozvoje, definovaných pomocí pravidel typu KDYŽ – POTOM, ale s určením vah závažnosti daného scénáře (pravidla).

Konkrétně, použití navrhované metody je účelné tehdy, když výsledek (například ukazatel NPV) získaný podle standardních pravidel neurčité matematiky, má příliš velké rozpětí nosiče, což

může ztížit přijetí rozhodnutí. Například, můžeme zvolit následující poměry vzájemného působení mezi vstupními neurčitými proměnnými rizikových faktorů:

- Poměr mezi riziky „chyby v projektové dokumentaci – překročení výdajů na výstavbu“,
- Poměr mezi riziky „chyby v projektové dokumentaci – překročení lhůty výstavby“.

Pro ověření předpokladu o vhodnějším použití neurčitého způsobu při hodnocení rizik projektu z důvodu menší citlivosti výsledného ukazatele na případné změny byly zkoumány dvě varianty. V první variantě byly vstupní informace rizikových faktorů stanoveny jako scénáře označené hranicemi možných intervalů dopadů vyjádřených trojúhelníkovou funkcí příslušností. Ve druhé variantě byly scénáře dopadů vyjádřeny Gaussovou křivkou příslušnosti. Rozpětí intervalů a samotná forma neurčitého čísla jsou charakteristikou rizika, která náhledně ukazuje jistotu dosažení určité hodnoty toho nebo onoho významu v souladu s odpovídající úrovní příslušnosti. Cílem aplikace různých typů příslušností, popisujících vstupní informace o rizikových faktorech, bylo ukázat citlivost výstupního parametru na případné změny formy neurčitého čísla související s lingvistickou interpretací experta o chování rizikového faktoru podle stupně jeho subjektivní jistoty.

5.5 Předností a nedostatky dvou pokročilých metod hodnocení rizik projektu

Modelování rizik intervalově-pravděpodobnostním způsobem metodou simulace Monte Carlo a neurčitě-množinovým způsobem založeném na použití neurčitých množin a neurčité logiky je v podstatě nástrojem, který „zlepšuje“ výsledky standardních výpočtů hodnocení rizik projektu, založeného na analýze scénáře. Existence dobrého výchozího modelu investičního projektu, finančního modelu projektu, je nezbytným základem pro provedení úspěšného simulačního a neurčitého modelování.

Z níže uvedené tabulky je zřejmé, že společný nedostatek obou přístupů spočívá v použití subjektivního hodnocení při určení pravděpodobnostních rozdělení a tvaru funkcí příslušnosti a také ve stanovení hlavních charakteristik rizikových proměnných. Pro mou výzkumnou práci je zajímavé, jak nedostatky výše uvedených přístupů reagují na případné změny tvarů funkcí příslušnosti a funkcí rozdělení pravděpodobnosti ve smyslu porovnání dosažených výsledků na velikost změny výsledného ukazatele. Toutou otázkou praktického uplatnění výše uvedených přístupů se zabývá následující kapitola, kde je uveden názorný příklad ilustrující použití popsaných metod modelování na praktickém příkladu hodnocení rizik projektu výstavby a provozu placeného dálničního okruhu kolem města Moskva.

Výsledky srovnávací analýzy použití metody Monte Carlo a fuzzy inferenčního systému jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab. 5.3 Výsledky srovnávací analýzy metody Monte Carlo a fuzzy inferenčního systému

Kritéria porovnáni	**Analýza rizika metodou Monte Carlo**	**Analýza rizika metodou fuzzy inferenčního systému**
Proměnné	Jsou náhodné veličiny se zadanými zákony rozdělení	Převedení reálných proměnných na jazykové proměnné, které vycházejí z lingvistických charakteristik proměnné s určením intervalů souvisejících hodnot ke každému lingvistickému popisu.
Model	Model peněžních toků	Model peněžních toků
Proces	Propočet velkého množství náhodných variant (scénářů) realizace projektu	Všechny scénáře podle jednotlivých faktorů rizik mohou být shrnuty do jednoho souhrnného scénáře v podobě trojúhelníkového neurčitého čísla. Přitom jednotlivé scénáře se ve struktuře souhrnného scénáře vytvářejí jako funkce příslušnosti úrovně daného faktoru k neurčité množině (universu).
Výsledek	Rozdělení pravděpodobnosti integrálního ukazatele rizika projektu	Výsledek operace fuzzy inference se převádí na reálnou „ostrou“ hodnotu pomocí defuzzifikace tak, aby co nejlépe prezentoval výsledek fuzzy výpočtu.
Nedostatky	Bez dostatečné báze statistických údajů použití subjektivního hodnocení při určení pravděpodobnostních rozdělení rizikových faktorů a koeficientů korelace a autokorelace.	Při popisu neurčitých veličin se používají funkce příslušnosti, které ve většině případů mohou být určené subjektivně na základě expertního hodnocení. Nezohledňuje autokorelaci v meziročním modelování výskytu rizikového faktoru.
Přednosti	Zohledňuje se v modelu korelace a autokorelace. Počet scénářů může být dostatečně velký, zaručující s určitou pravděpodobností spolehlivost výsledků modelování.	Neurčité množiny ideálně popisují dopad toho či onoho faktoru rizika, stanoveného subjektivně s pomocí neurčitých čísel. Veškeré jazykové formalismy vyjádřené slovy může expert transformovat do popisu v matematickém jazyce.

Zdroj: tabulka vlastní.

6 Praktické uplatnění pokročilých metod při hodnocení rizik projektu

6.1 Výběr nástrojů pro implementace pokročilých metod při hodnocení rizik projektu v procesu modelování

Pokročilými metodami rozumíme metody, využívající výpočetní techniku, teorii fuzzy logiky a také numerické metody vyjádřené simulačním procesem metodou Monte Carlo. Při provedení analýzy pokročilými metodami byl použit systémový přístup. Systémovým přístupem označujeme takový způsob myšlení, při němž jsou jevy chápány v jejich vnitřních i vnějších souvislostech, tj. komplexně. Systémový přístup znamená využití nejrůznějších pomůcek a technik, které poskytují jiné vědní obory, v nichž je systémový přístup respektován, Dostál [10].

Modelování zahrnuje tvorbu modelu zkoumaného systému a jeho využití pro potřeby predikce chování systému. Modelováním tedy rozumíme proces zkoumání systému. Modelem lze chápat odladěný program pro potřeby rozhodování nebo zkoumání určitého systému. V této disertační práci jsou předloženy modely vzniklé aplikací pokročilých metod. Jeden model byl vytvořen užitím fuzzy inferenčního systému, druhý užitím simulace Monte Carlo. Důvod použití právě těchto pokročilých metod hodnocení je objasněn v předchozí kapitole s vysvětlením jejich předností a nedostatků. Stručný popis využití dvou pokročilých metod na příkladu zkoumaného projektu se nachází v přílohách k 6. kapitole s objasněním jejich praktických aplikací. Pro ověření v cíli disertační práce mého definovaného předpokladu v prokázání toho, že neurčitý způsob hodnocení je robustnější vůči případným změnám spjatým s vágností sémantiky při expertním hodnocení v kapitole 6.3 je provedeno porovnání výsledků dosažených použitím dvou pokročilých metod. Jak již bylo výše uvedeno, zkoumání výsledného ukazatele rozpočtové efektivity projektu, který závisí na výši ukazatele NPV převoditelných rizik, spočívá v porovnání dosažených výsledků za použití různých typů pravděpodobnostních rozdělení a funkcí příslušnosti rizikových proměnných, souhrn kterých představuje NPV převoditelných rizik.

Simulační přístupy v analýze rizik představují určitou nadstavbu citlivostních analýz a scénářových přístupů, Mun [32]. Jedná se o případ, kdy existuje větší množství klíčových faktorů rizika spojitého charakteru. Jejich hodnocení, jako diskrétních scénářů, by vyžádovalo konstruování velkého počtu těchto scénářů, což by vedlo ke značné pracnosti a s tím spojené větší možnosti výskytu chyb. Simulací rozumíme proces návrhu modelu reálného systému a provádění experimentů s tímto modelem za účelem porozumění chování systému nebo ohodnocení potřebného souhrnného ukazatele, Shannon [47]. Simulace metodou Monte Carlo představuje druh simulačního přístupu a slouží jako nástroj řešení pravděpodobnostních modelů. Uplatnění simulace metodou Monte Carlo v rámci

analýzy rizika zahrnuje škálu technik schopných pomocí matematického aparátu popsat dopad rizika a nejistoty na problém, Molak [30].

Praktické využití simulace metodou Monte Carlo vyžaduje uplatnění vhodného programového zabezpečení. Úlohy simulace metodou Monte Carlo lze řešit pomocí Excelu ve spolupráci s add-in programem Crystal Ball. Crystal Ball značně rozvíjí analytické schopnosti tabulkového procesoru Excel při řešení simulačních úloh, umožňuje analýzu citlivostí a analýzu scénářů, Fotr [13].

Při expertním hodnocení rizik projektu je typické použití přirozeného jazyka. Tento jazyk je však těsně spjat s vágností sémantiky, proto ho je těžké převést přímo do matematických formulí. Expertní hodnocení značně závisí na zkušenostech odborníků a jejich postojích k riziku. Tyto problémy je možné minimalizovat za pomoci fuzzy logiky, která umožňuje modelovat význam přirozeného jazyka a pracovat s určitou mírou nepřesnosti. Jedná se tedy o využití znalostí a zkušeností člověka, které jsou formou definovaných pravidel využívány ve **fuzzy inferenčním systému**. Podle současné klasifikace se fuzzy logika dělí na fuzzy logiku v užším a širším smyslu. Fuzzy logika v užším smyslu je speciální vícehodnotová logika, jejímž cílem je poskytnout prostředky pro modelování fenoménu vágnosti pomocí zavedení stupňů. Fuzzy logika v širším smyslu zahrnuje teorii přibližné dedukce, tj. model lidského usuzování, jehož charakteristickým znakem je používání přirozeného jazyka, Novák [37]. Pomocí základních pojmů fuzzy logiky je možné definovat základní typy fuzzy inferenčních systémů, například typu Mamdani, typu Takagi-Sugeno a typu Tsukamoto. Tyto typy fuzzy inferenčních systémů se liší ve způsobu určení výstupů. Fuzzifikace vstupních proměnných a aplikace operátorů v podmíněných pravidlech jsou však ve všech typech fuzzy inferencích systémů stejné.

Pro model hodnocení rizik projektu implementovaného formou PPP, který umožňuje určení rozhodujícího ukazatele rozpočtové efektivity, jsem zvolila fuzzy inferenční systém typu Mamdani. Pro výpočet konkrétního příkladu jsem hledala vhodný prostředek. Jako nejvhodnější se jevil systém Matlab. Velkou výhodou tohoto systému je vložený soubor programů zabývající se fuzzy problematikou – Fuzzy Logic Toolbox. Tento soubor obsahuje Fuzzy Interface systém (FIS) a k němu přidané některé výpočty s fuzzy množinami. Základní operace potřebné k počítání s fuzzy množinami jsem vytvořila v podobě m-souborů. Jedná se zejména o operaci sjednocení fuzzy množin. Fuzzy množiny definované pomocí trojúhelníkové, lichoběžníkové funkce příslušnosti a také ve formě Gaussovy křivky musejí být normální a konvexní a také musejí splňovat požadavek částečné spojitosti. Takto definované fuzzy množiny se nazývají – fuzzy čísla. Pak pomocí Zadehova principu rozšíření můžeme s fuzzy čísly pracovat způsobem obvyklým pro čísla. Zadehův princip rozšíření se prakticky provádí tak, že fuzzy množiny pomocí α-řezů „nařežeme“ na intervaly. S využitím intervalové aritmetiky vypočteme a-řezy výsledné fuzzy množiny a pomocí interpolace z nich sestrojíme výslednou fuzzy množinu, v našem případě množinu NPV převoditelných rizik.

Fuzzy Logic Toolbox byl vytvořen pro nejčastější aplikaci fuzzy množin a to pro návrh Fuzzy Interface Systému. Ve Fuzzy Logic Toolboxu je nutno tento systém velmi pečlivě naprogramovat pro další odladění FIS.
Fuzzy Logic Toolbox, kde je vestavěný Fuzzy Interface Systém, je velmi zdařile zkonstruován a pro tuto práci se velmi osvědčil. Ze zkušenosti s výpočty lze konstatovat, že Matlab je velmi vhodným systémem programů pro provádění operací s fuzzy množinami.

6.2 Hodnocení ekonomické efektivity a rizika investičního projektu při neurčité vstupní informaci na příkladu výstavby a provozu placeného dálničního okruhu kolem Moskvy (CKAD). Popis projektu.

Projekt Centrálního dálničního okruhu kolem Moskvy (dále CKAD) obsahuje návrh, financování, výstavbu a provoz dálničního okruhu v Moskevské oblasti ve vzdálenosti 30-40 km od Moskevského silničního okruhu (MKAD). CKAD byl rozdělen do 10 částí (úseků) s různou výší a strukturou předpokládané dopravní intenzity. Po dokončení výstavby všech úseků bude celková délka okruhu 522 km a jeho šířka na různých místech od 4 do 8 pruhů v obou směrech. Pro snížení nákladů na počáteční kapitál bylo rozhodnuto o rozdělení stavby do dvou etap:

- Etapa 1: období 2011 až 2021 - bude provedena výstavba čtyř pruhů na většině silničních úsecích;
- Etapa 2: období 2019 až 2025 - po dosažení určité úrovně intenzity provozu budou postaveny další pruhy.

Předpokládá se, že většina úseků bude zpoplatněna vybíráním poplatků za použití silnice užitím uzavřeného systému výběru mýtného.
Ministerstvo dopravy Ruské Federace a vláda Moskevské oblasti považuje CKAD za jeden z hlavních prvků vazby Moskevského regionálního dopravního centra.
Projektovaná Centrální okružní magistrála v Moskevské oblasti je bezpochyby lákavou investiční příležitostí. V prvé řadě to souvisí s předpokládanou aktivní poptávkou ihned po jejím zprovoznění, což potvrzuje prognóza intenzity provozu, a také díky významné roli, kterou bude silniční magistrála hrát nejen v rozvoji dopravní sítě Moskevské oblasti, ale i v sociálním a ekonomickém rozvoji regionu obecně, včetně vytvoření mezinárodních dopravních koridorů a odpovídající perspektivy rozvoje trhu logistických služeb, založeného na mezinárodních standardech kvality.
Současně se při získávání prostředků na výstavbu CKAD od potenciálních investorů nastoluje otázka placeného používání silniční magistrály nebo jejích jednotlivých úseků, vzhledem k partnerství státu a soukromých subjektů. Tohoto druhu partnerství se hodně využívá při stavbě rychlostních komunikací v mnoha zemích světa.

V 19 zemích Evropy (Rakousko, Belgie, Chorvatsko, Česko, Dánsko, Francie, Německo, Řecko, Irsko, Itálie, Norsko, Nizozemí, Polsko, Portugalsko, Spojené království, Srbsko, Slovinsko, Španělsko a Turecko) jsou dálnice a magistrály zpoplatněny. V některých zemích severní Evropy je zpoplatněn také průjezd přes mosty a tunely, a v řadě dalších zemí jsou zpoplatněny i některé úseky běžné silniční sítě, které často mají pouze jeden jízdní pruh.

Na základě praktických poznatků lze obecně říci, že je zpoplatněna převážná část užívaných silnic/dálnic v Itálii (85,9%), ve Francii (75,3%) a v Portugalsku (59,5%), stejně jako v zemích východní Evropy (Slovinsko – 77,3%, Chorvatsko – 71%) a v Turecku (78,7%).

Principy vybírání poplatků. Příjmy projektu.

Hlavní směry a zkušenosti z financování dopravní infrastruktury byly definovány Evropskou komisí ministrů dopravy v roce 2003.

Konkrétně se uvádělo, že během uplynulých padesáti let se tendence a směry rozvoje dopravních investic změnily a staly se komplikovanějšími. Zřetelně se projevil odklon od výhradního státního financování silniční sítě, a ve větší míře se do tohoto procesu zapojili soukromí investoři a také uživatelé. Praxe však ukázala, že očekávání v tomto směru byla poněkud přehnaná, a v některých případech nereálná.

Je zřejmé, že doprava je součástí státních výdajových programů a to ze strategického, tak i sociálního hlediska. Avšak již existující tendence zapojování soukromého sektoru do poskytování služeb a řízení dopravní infrastruktury je nezvratná a vítaná na všech úrovních. Při takovém přístupu je ovšem třeba zajistit realističtější a opodstatněnou rovnováhu mezi třemi zainteresovanými stranami – státem, soukromými investory a přímými uživateli.

Na pořad dne se dostává nutnost strategického plánování investic do dopravy a dopravní infrastruktury. Hlavními zdroji financování silnic, podle stávajícího systému podporovaného Evropskou unií, jsou:

- příjmy z daně z motorových paliv;
- platby za registraci dopravního prostředku (při koupi a každoročně);
- poplatky za vjezd na most, do tunelu a na placené úseky dálnic.

V současnosti existují čtyři základní přístupy k vybírání poplatků za používání placených silnic:

- jednorázové poplatky;
- poplatky za ujeté kilometry;
- skryté poplatky (nebo podobné);
- systém „Placený okruh“.

„Placený okruh“

Všechny výše uvedené varianty počítají s uplatněním mýtného, což se bezprostředně týká samotného CKAD. Nicméně existuje také varianta vybírání mýtného založená na tom, že provoz CKAD bude realizován s pomocí finančních prostředků získaných z mýtného na „placeném okruhu kolem Moskvy“.

Podstata tohoto systému spočívá v tom, že se platí nikoli za průjezd po Centrální okružní magistrále, nýbrž za vjezd na okružní magistrálu tvořící danou trasu.

Tento princip byl úspěšně uplatněn v několika evropských městech, například v Oslo, a má své přednosti:

- tato neplacená okružní magistrála přiláká účastníky silničního provozu, a tím odlehčí silniční síti a magistrálám nacházejícím se uvnitř okruhu, například MKAD;
- moskevské dopravní prostředky tak budou osvobozeny od platby mýtného, neboť budou jezdit uvnitř zpoplatněného okruhu;
- výše mýtného bude záviset na investicích do dopravní infrastruktury: je možné věnovat část příjmů ze zpoplatněného okruhu na zlepšení dopravní situace i na modernizaci systému hromadné dopravy směrem k Moskvě;
- systém silničních mýtných stanovišť může být vytvořen tak, že nebude mít vliv na zaběhnuté dopravní toky po okružní magistrále.

Existence radiálně-okružního systému dopravní sítě existující k dnešnímu dni v Moskevské oblasti a omezený počet radiálních silnic křížících projektovanou trasu CKAD vedou k domněnce, že varianta „placeného okruhu“ může být ekonomicky výhodná a účelná.

Popis nákladů projektu CKAD

Investiční náklady

Obecně jsou veřejné zakázky (a zejména pak zakázky v oblasti dopravní infrastruktury) po celém světě předraženy. Předražení je patrno zejména tam, kde existuje monopolní, olygopolní nebo korupční prostředí. Střízlivé odhady počítají s předražením na úrovni 20 %, 30 % a někdy až 50 %. Vypořádat se s monopolem, olygopolem, korupcí, ale také inflací stavebních prací, nedostupností některých zdrojů apod. je přitom velmi obtížné. Úspěchu lze málokdy dosáhnou čistě na úrovni projektu, potřebná jsou řešení na státní úrovni, politická řešení, řešení legislativní a také řešení restriktivní a silové povahy. Politická hodnota projektu CKAD je značně vysoká. Technický přístup k tomuto problému však nemůže tuto oblast efektivně podchytit. Toto je úloha pro veřejného zadavatele.

Vyjma kalkulované výše investičních nákladů ohrožují projekt také některá jeho rizika, která se projevují v průběžném zvyšování ceny stavebního díla. Úloha snížení celkových nákladů se proto

musí kromě jiného soustředit i na otázku kvalitní rizikové analýzy a na ní navazujícího rizikového managementu.

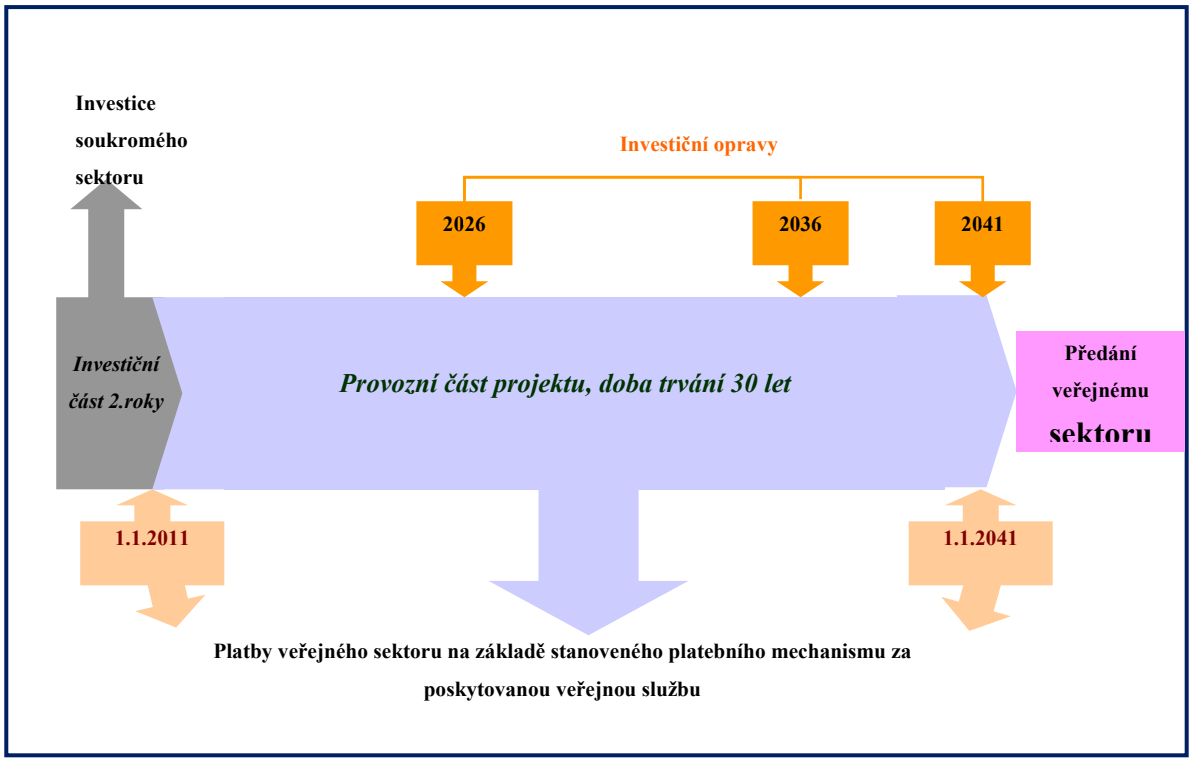
Provozní náklady

Provozní náklady na údržbu a opravu investice by měly být kalkulovány na dobu 30 let. Strukturu provozních nákladů tvoří tyto položky:

- běžná letní údržba, čištění a mytí
- odvodňovací zařízení
- stavební údržba vozovky
- péče o zeleň
- údržba příslušenství dálnic
- mosty (údržba, opravy)
- vodorovné značení
- zimní příprava
- zimní údržba
- havárie, odtahy
- výkony pro další subjekty
- údržba areálu
- likvidace odpadů
- ostatní práce

Náklady životního cyklu

Projekt je rozdělen na stavební (investiční) část a na provozní část. Investiční část bude v délce dvou let. Po tuto dobu bude projekt financován plně ze zdrojů soukromého sektoru. Po uvedení úseků dálnice do provozu bude probíhat platba od veřejného sektoru dle stanoveného mechanismu. Projektová organizace bude po dobu 30 let zajišťovat provoz, údržbu a investiční opravy. Po ukončení tohoto provozního cyklu budou úseky předány do plné správy veřejného sektoru.



Obr. 6.1 – vlastní: Platba od veřejného sektoru dle stanoveného mechanismu

Během životního cyklu projektu jsou opotřebované části vyměňovány v rámci investičních oprav. Četnost těchto oprav je stanovena na základě norem a požadavků. V současnosti jsou vymezeny technickými a technicko-kvalitativními podmínkami projektu. Náklady investičních oprav byly stanoveny podle technických podmínek a technických kvalitativních podmínek dané země (Ruská Federace). Podle aktuálních norem lze definovat omezující návrhové životnosti:

- do 15 let - obrusná vrstva, nosné konstrukce dopravního značení, dopravní zařízení, ploty, přístřešky, dopravní značky
- do 25 let - nově budované vozovky - návrhové období je doba, během níž nemá být vozovka zesilována nebo rekonstruována
- do 30 let - mostní závěry, nenosné části ocelových mostních konstrukcí, prvky vybavení mostních objektů, sloupky a výplně protihlukových stěn, odvodňovače mostů, portály, spojovací materiály.

K nákladům na investiční opravy byly standardně přiřazeny položky, u kterých se předpokládá, že dojde v rámci životního cyklu projektu k technickému a morálnímu zastarávání. Jedná se o dálniční systémy SOS (kabelová vedení) a automatické sčítače dopravy.
Finanční efektivita vynaložených nákladů je založena na analýze vynaložených prostředků a výsledných přínosů z pohledu finančních toků projektu po jeho celou stanovenou referenční dobu.

6.3 Porovnání výsledků neurčitého a intervalově-pravděpodobnostního přístupů k hodnocení ekonomické efektivnosti investičního projektu PPP z hlediska ukazatele hodnoty za peníze

V této části porovnávám výsledky dosažené užitím neurčitě-intervalového a intervalově-pravděpodobnostního přístupu k hodnocení efektivnosti nákladů z hlediska ukazatele rozpočtové efektivity (VfM) projektu při srovnání různých forem realizace projektu, ve formě koncese a veřejné zakázky.

Při realizaci projektu CKAD existuje možnost vzniku rizik. Tato rizika jsou popsána v kapitole 4. V přílohach č.1 a č.2 k 5. kapitole jsou uvedené škody na základě expertní analýzy formalizovány ve formě peněžních toků, které pak byly prezentovány v podobě neurčitých (TNM) a náhodných hodnot (pravděpodobnostní přístup). Diskontní sazba byla stejná pro oba modely. Touto sazbou je veřejná diskontní sazba (viz kap.3) ve formě prognózy určitých čísel, aby se zabránilo "přecenění" nejistoty při provádění operací nad fuzzy množinami (viz kap.5).

Pro **fuzzy-intervalový přístup**, jsou všechny parametry možné škody z výskytu určitých rizik představeny ve formě fuzzy čísla / intervalu s trojúhelníkovou funkcí příslušnosti {l, m, r}, kde l - nejmenší hodnota, m - nejvíce možná hodnota, r-největší hodnota parametru a ve formě Gaussovy křivky {m, δ}, kde m – nejvíce možná hodnota, δ – odchylka od nejvíce možné hodnoty. Pro **intervalově- pravděpodobnostní přístup** jsou všechny parametry možné ztráty sestaveny v podobě intervalů možných škod (scénář dopadu) podmíněných pravděpodobnostmi vzniku určitého scénáře, kde jakákoliv hodnota uvnitř intervalu je stejně pravděpodobná. Pro vyjádření této nejistoty je nejvhodnější použití custom rozdělení (viz kap.5). Aby bylo možné provést porovnání výsledků s neurčitým přístupem v intervalově-pravděpodobnostním přístupu byly použité různé typy pravděpodobnostních rozdělení a to trojúhelníkové, betaPERT a custom.

Charakteristické hodnoty vstupních parametrů modelů neurčitě-intervalového a intervalově-pravděpodobnostního přístupu jsou formovány stejně.

Vysvětlení:

- **Pro porovnání výsledků získaných dvěma přístupy** byly vstupní hodnoty intervalů scénářů dopadů rizik stanoveny přibližně stejné a celkový rozsah možného dopadu určitého rizika byl stejným.
- V intervalově- pravděpodobnostním modelu se způsob závislosti rizikových faktorů odráží v použití korelačních koeficientů mezi nimi. V modelu neurčitě-intervalovém byla tato závislost určena koeficienty významností pravidel, které charakterizují závislost výsledku (antecedentu) na podmínkách konsekventu určujících nejvíce očekávaný scénář. Například, když je riziko výskytu chyb v projekční a pracovní dokumentaci velké, pak i riziko překročení nákladů na výstavbu je velké. Takže celkové riziko za určité období (rok) je také velké a bude mít větší

váhu v porovnání z jinými možnými scénáři. Při modelování závislosti vzniku stejného rizika mezi roky v intervalově-pravděpodobnostním způsobu byla použita autokorelace. V neurčitě-intervalovém modelu nebyla použita informace o vzniku vzájemné závislosti mezi roky určitého rizikového faktoru, protože klasická pravidla fuzzy a intervalové matematiky dávají **zaručené odhady vypočítaných parametrů**.

- V neurčitě-intervalovém přístupu byla nejistota možné ztráty vstupních proměnných zformalizována pomocí **funkce příslušnosti** určitých hodnot odpovídajících intervalu dopadu případného rizika, v pravděpodobnostním způsobu definovaná **funkcí rozdělení pravděpodobností.**
- Výpočet ukazatele rozpočtové efektivity investičního projektu (VfM) v neurčitě- intervalovém přístupu, byl proveden na základě **vzorců (4.1) - (4.2) s přehlednutím k pravidlům a specifice fuzzy a intervalové matematiky.**
- Výpočet ukazatele rozpočtové efektivity investičního projektu (VfM) v intervalově-pravděpodobnostním přístupu byl proveden se stejnými **vzorců (4.1) - (4.2) pomocí simulace Monte Carlo.**

Porovnání výsledků neurčitého a intervalově-pravděpodobnostního přístupu hodnocení efektivity investičního projektu z hlediska ukazatele rozpočtové efektivity bylo představeno různými způsoby:

1. Grafickým srovnáním získané funkce příslušnosti a funkce hustoty pravděpodobnosti ukazatele NPV převedených rizik;
2. Srovnání z hlediska ukazatele NPV převedených rizik: defuzzifikované hodnoty metodou "centroid" a středně očekávané hodnoty;
3. Srovnání z hlediska ukazatele NPV převedených rizik: defuzzifikované hodnoty metodou "středu maxima " a mediány.
4. Srovnání z hlediska ukazatele NPV převedených rizik: defuzzifikované hodnoty metodou „bisectoru“ a minimální hodnoty.
5. Pro provedení komplexní analýzy získaných výsledků za použití neurčitého a intervalově-pravděpodobnostního přístupu pro provedení analýzy rozpočtové efektivity projektu realizovaného formou koncese **se porovnávaly dvě varianty**:
    1) pro neurčitý přístup byly vstupní parametry rizikových proměnných představeny ve formě **trojúhelníkových funkcí příslušnosti** a pro intervalově-pravděpodobnostní byly použity **různé typy pravděpodobnostních rozdělení (trojůhelníkové, betaPERT, custom)**;
    2) pro neurčitý přístup byly vstupní parametry rizikových proměnných představeny **funkcí příslušnosti ve formě Gaussovy křivky** a pro intervalově-pravděpodobnostní

přístup rizikové proměnné byly nadefinovány **pomocí customizované funkce rozdělení pravděpodobnosti**.

Provádění výpočtu s různými typy funkcí příslušnosti a funkcí rozdělení pravděpodobnosti umožnilo analyzovat výsledky získané neurčitým a intervalově-pravděpodobnostním způsobem týkající se robustnosti ke změně vstupních údajů rizikových proměnných (interpretace formy rizikové proměnné) prováděných na základě expertního hodnocení. Problém nedostatečné vstupní informace o charakteru rizikových faktorů nutí k používání přibližného usuzování expertů, které neumožňuje přesně stanovit funkci příslušnosti a jestě více funkce rozdělení pravděpodobnosti. Porovnání výsledků je důležitým podkladem pro ověření mého předpokladu, že neurčitý způsob je více vhodným nástrojem pro modelování rizik projektu, u kterého není možné získat potřebný počet dat pro provedení analýzy ukazatele rozpočtové efektivity potřebného při uvažování o formě realizace projektu.

Srovnání neurčitě-intervalového a intervalově-pravděpodobnostního způsobu hodnocení NPV převedených rizik ukázalo vlastnosti a výhody jednotlivých přístupů, které jsou uvedeny níže.

Jak již bylo výše uvedeno v kapitole 4 této práce je v teorii neurčitých množin procedura defuzzifikace analogická vyhledávání charakteristik polohy náhodných veličin v teorii pravděpodobnosti (matematického očekávání, módu, mediánu). Matematickému očekávání v teorii pravděpodobnosti odpovídá v TNM hodnota zjištěná defuzzifikační metodou Centroid, Mediáně odpovídá Střed Maxima (MOM), Minimální hodnotě Bisector a Maximální hodnotě Módus. Pokud rozdělení rizikových faktorů nebylo symetrické, pak na rozdíl od pravděpodobnostního přístupu hodnocení výsledné hodnoty, ve kterém zkoumáme hodnotu Mediánu je v TNM nejvhodnější charakteristikou Střed Maxima (MOM), který nejspíš odpovídá v teorii pravděpodobnosti Módusu. Je to proto, že hustota množiny se zkoumá po provedení řezu ve vrchní části a ne ve spodní. Z toho vyplývá, že by nás měly zajímat ne okrajové hodnoty intervalu nosiče fuzzy množiny, ale hodnoty intervalu řezu s jeho polohou vrcholu, protože modus je chápán obecněji jako obměna s největší četností vzhledem k nejbližšímu okolí.

Tab. 6.1 Srovnání výsledného ukazatele NPV převoditelných rizik projektu aplikovaného různými přístupy Hodnocení

NPV převoditelných rizik projektu varianta 1 (v mln. rub.)			
Pravděpodobnostní způsob simulační metoda **Různé typy pravděpodobnostních rozdělení** **Střední očekávaná hodnota** **22 935**	**Neurčitý způsob Fuzzy Inferenční Systém** **Trojúhelníkové funkce příslušnosti** **Defuzzifikace metodou Centroid** **23 967**	**Pravděpodobnostní způsob simulační metoda** **Různé typy pravděpodobnostních rozdělení** **Medián** **22 914**	**Neurčitý způsob Fuzzy Inferenční Systém** **Trojúhelníkové funkce příslušnosti** **Defuzzifikace metodou MoM** **15 439**
NPV převoditelných rizik projektu varianta 2 (v mln. rub.)			
Pravděpodobnostní způsob simulační metoda **Customizované pravděpodobnostní rozdělení** **Střední očekávaná hodnota** **23 747**	**Neurčitý způsob Fuzzy Inferenční Systém** **Funkce príslušností ve tvaru Gaussovy křivky** **Defuzzifikace metodou Centroid** **24 845**	**Pravděpodobnostní způsob simulační metoda** **Customizované pravděpodobnostní rozdělení** **Medián** **16 256**	**Neurčitý způsob Fuzzy Inferenční Systém** **Funkce príslušností ve tvaru Gaussovy křivky** **Defuzzifikace metodou MoM** **16 102**

Zdroj: tabulka vlastní

Jak je patrné z výše uvedené tabulky, jsou hodnoty získané neurčitým způsobem pomocí různých typů funkcí příslušnosti a různých typů defuzzifikačních metod podobné. Rozdíl „ostrých“ hodnot v 1. a ve 2. variantě získaných metodami defuzzifikace Centroid a MOM se liší méně oproti výsledkům získaným simulační metodou Monte Carlo. I když při modelování neurčitým způsobem byly intervaly dopadů převedeny na neurčité intervaly, tzn. jejich hranice byly nepřesně stanovené, a při modelování tato vágnost byla podchycena tím, že se vzájemně přikrývaly, výsledek „ostrých hodnot“ porovnávaných variant byl skoro podobný jak u defuzifikační metody Centroid, tak i při defuzifikaci

metodou MOM. To ukazuje, že získané defuzzifikační hodnoty jsou vysoce odolné ke změnám typu funkcí příslušnosti. U intervalově-pravděpodobnostního přístupu byly hranice intervalů dopadů přesně stanoveny na základě expertního hodnocení. Porovnávaly se výsledky hodnot získaných použitím různých typů pravděpodobnostních rozdělení. Jak ukazují výsledky ve výše uvedené tabulce, existuje velká citlivost výsledných hodnot na zvoleném typu funkce rozdělení pravděpodobnosti.

Při porovnání byla potvrzena má domněnka, že customizovaný typ rozdělení pravděpodobnosti je vhodnější při provádění expertního hodnocení při intervalově-pravděpodobnostním způsobu, protože nejlépe podchycuje scénáře podmíněných pravděpodobností. To ukazuje rozdíl mezi hodnotami mediánů získaných dvěma variantami propočtu. U pravděpodobnostního způsobu je rozdíl mediánů značný v porovnání s neurčitým způsobem, kde „ostré hodnoty“ získané metodou defuzifikace MOM jsou skoro stejné.

Hodnota mediánu je rozhodujícím ukazatelem při hodnocení výsledného ukazatele rozpočtové efektivity (VfM) jako složka NPV převoditelných rizik. A proto by měla být co nejpřísněji přepočítána.

Na základě výše uvedených mnou získaných závěrů v současných podmínkách při hodnocení rizik projektů typu PPP, kde není možné získat statistický výběr dat pro modelování rizik a veškeré informace o riziku se obvykle formalizují na základě expertního posouzení, je nekorektní používat funkce rozdělení pravděpodobností. Ve výsledku muhu konstantovat, že při neurčitém způsobu modelování rizik není třeba přesně definovat typ funkcí příslušností a výběr jejich tvaru záleží na logickém usuzování samotného experta.

Z porovnání výsledků (tabulka výše), mohu vyvodit následující závěry:

1. Pro analýzu rizik v současných podmínkách absence dostatečné informace doporučuji používat aparát teorie neurčitých množin, neboť jeho aplikace, kromě výhod uvedených v kapitole 1 této práce, má následující výhody oproti pravděpodobnostnímu přístupu, a to:
   - Neurčitě-intervalový přístup založený na aritmetice neurčitých intervalů poskytuje spolehlivé výsledky, tj. ve všech případech získáme neurčité intervaly zaručeně obsahující řešení nebo množinu řešení. Toto je v současných informačních podmínkách velmi důležité, protože vstupní informace se obvykle formalizují na základě expertního posouzení nebo na základě malého statistického výběru, tj. výběru, kdy pravděpodobnostní odhady obvykle není možné získat ani v předběžném hodnocení dlouhodobých investic a poměrně často ani následnou perspektivní analýzou.
   - Obvykle se v praxi nejčastěji ukazuje, že v procesu rozhodování o některé proměnné nebo o parametrech modelu lze zadat pouze rozsah změn (maximální a minimální přípustné hodnoty - intervaly) a nejvěrohodnější odhad (nejvíce možnou hodnotu),

které může mít určitá posuzována hodnota. Navíc, někdy je možné vytvořit i funkci, která charakterizuje přípustnost každé hodnoty v zadaném intervalu na základě statistického materiálu nebo dotazování skupiny odborníků. Nicméně, takový výklad proměnné jako náhodné proměnné není příliš vhodný. Mnohem přirozenějším by byl popis této proměnné jako fuzzy proměnné s funkcí příslušnosti charakterizující soubor jejích možných hodnot.

- V pravděpodobnostním přístupu je nepřesnost zadání některých parametrů ve výpočtech nahrazena expertními odhady nebo průměrem (váženým průměrem) hodnot. Vzhledem k nedostatku informací není důsledné uplatňování pravděpodobnostních modelů vhodné. Doporučuji pracovat v rámci teorie neurčitých množin s intervalovými hodnotami, jejichž výhody jsou zřetelnější.
- Neurčitě-intervalový přístup nevyžaduje absolutně přesnou definici funkce příslušnosti vstupních parametrů.
- Součástí moderních systémů je, že velká část informace potřebná pro jejich matematický popis existuje ve formě představ expertů. Tyto systémy vyžadují účast osoby nebo skupiny osob na řízení. Ale v jazyce tradiční matematiky nejsou objektivní prostředky, které by přiměřeně odrážely vágní názory expertů.
- K řešení tohoto problému zformulovaného z hlediska fuzzy množin není třeba přesně specifikovat všechny hranice a parametry funkce příslušnosti, které nevyžadují velké a namáhavé práce. Funkce příslušnosti zpočátku jen zhruba definuje parametry systému, což povede ke zlepšení efektivity odhadů expertů při přípravě podkladů.
- Na základě provedeného srovnání dvou použitých metod (metody Monte Carlo a Fuzzy Inferenčního systému) jsem zjistila, že dosažené hodnoty jsou v některých případech podobné. Metoda Monte Carlo je však přesnější a vhodnější v případě, že máme k dispozici alespoň minimální statistickou informaci, protože bere na zřetel vzájemnou závislost mezi rizikovými faktory a případnými scénáři. Avšak jak ukazují výsledky simulací při použití různých typů pravděpodobnostních rozdělení mají hodnoty sledovaných parametrů vysokou citlivost na výběr typu pravděpodobnostního rozdělení. Fuzzy inferenční systém lze použít za jakékoliv kvality a kvantity informace, není sice tak přesný, ale zaručuje dosažení výsledku v určitém intervalu. Takže je možné konstatovat, že tyto metody si vzájemně nekonkurují, ale naopak se doplňují.

Výše uvedené výhody fuzzy-intervalového přístupu jsou vhodnější pro použití v reálných složitých systémech, kde současně existuje přítomnost různorodých informací:

- bodové hodnoty parametrů na základě měření;
- přípustné intervaly a jejich změny;
- statistické rozdělení některých hodnot;
- informace o možných hodnotách parametrů, získaných od expertů v daném oboru, které obsahují kvalitativní informace v podobě jazykových kritérií a omezení, týkající se charakteru prognóz.

Při zpracování nepřesně známých hodnot se běžně používá jako nástroj teorie pravděpodobnosti. Nicméně, jedná se o náhodnost spojenou s nejistotou, pokud jde o příslušnost objektu k normálnímu množství. Tento rozdíl mezi neurčitostí a náhodností vede k tomu, že matematická metoda neurčitých množin se liší od metody teorie pravděpodobnosti. P**ojmu míra pravděpodobnosti v teorii pravděpodobnosti odpovídá pojem funkce příslušnosti v teorii neurčitých množin**. Z tohoto důvodu, a to i v případech, kdy nejistota v rozhodovacím procesu může být představená pravděpodobnostním modelem, je obvykle vhodnější pracovat s metodami teorie fuzzy množin bez zapojení aparátu teorie pravděpodobnosti. To lze vysvětlit tím, že standardní pravděpodobnostní pojmy a metody nejsou adekvátní při popisu zkoumané situace, stejně jako je obtížné získat potřebné statistické charakteristiky parametrů pro zjištění hustoty pravděpodobnosti, nepravidelnosti jevů a podstatných nestálostí. Operování neurčitými hodnotami pomocí teorie pravděpodobnosti vede k tomu, že nejistota, bez ohledu na její povahu, je identifikována jako náhodnost, zatímco hlavním zdrojem nejistoty v mnoha procesech je neurčitost a vágnost (fuzziness).

2. Výhodou pravděpodobnostního přístupu je získání méně nejistého rozsahu výsledných ukazatelů, v našem případě ukazatele NPV převedených rizik. Nicméně, tato výhoda pravděpodobnostního přístupu se projevuje pouze v případě velkého množství základních informací, které by měly být přesně v souladu s požadavky stochastiky (stejnorodosti, mnohanásobného opakování, frekvenční stability), aby uplatňování teorie pravděpodobnosti bylo oprávněné při stanovení typu pravděpodobnostního rozdělení. Při velkém množství takových informací se získá méně nejistý výsledek, ale jak jsem již opakovaně uvedla, získání těchto informací ve většině případů není fyzicky možné.

Pokud uvažujeme o nejisté informaci, její účinnost je přímo závislá na volbě matematického aparátu definovaného matematickou teorií. Otázka výběru odpovídajícího formálního jazyka (matematického aparátu), který poskytne přijatelnou formalizaci nejistoty a adekvátní řešení problémů vznikajících ve strategickém řízení reálných investic, je velmi důležitá. Neoprávněný, a v důsledku toho, špatný výběr

matematických nástrojů obecně vede k neadekvátně vytvořenému matematickému modelu a k nepřesným výsledkům při jeho aplikaci.

Následně vzniká nedůvěra k dosaženým výsledkům a ignorování závěrů na nich založených. V kapitole 1 uvedené výhody využití aparátu teorie neurčitých množin, stejně jako další výše uvedené výhody neurčitě-intervalového přístupu ve srovnání s pravděpodobnostním přístupem, naznačují, že matematický aparát teorie neurčitých množin je efektivním nástrojem popisu systémů, procesů rozhodování a procesního řízení různých problémů v hospodářství, finančnictví a především v procesu odůvodnění dlouhodobých investic, který je uveden jako příklad v této disertační práci.

Závěr

Praxe provádění prognózních výpočtů reálných IP nasvědčuje o nezbytnosti všestranného zohlednění různých typů nejistot při hodnocení, plánování a řízení investičních projektů. Skutečností je, že vliv faktorů nejistoty na IP vede ke vzniku nečekaných situací, které mohou vést k neočekávané ztrátě či škodě, zvlášť v takových projektech, které jsou realizované formou partnerství veřejného a soukromého sektoru. Přihlédnutí k nejistotě informací a jejich účinnosti je přímo závislé na volbě matematického aparátu definovaného matematickou teorií.

Etapa odůvodnění a výběru matematického aparátu, který poskytuje přijatelnou formalizaci nejistoty a odpovídá řešení problémů vzniklých při řízení reálných investic, je nesmírně důležitá.

Nesprávný výběr matematického aparátu vede k nesprávným výsledkům dosaženým matematickým modelováním a tím vzniká k nim nedůvěra. Analýza, která je uvedena ve 2. kapitole této práce ukazala, že stávající metody eliminují nejistotu v modelu IP, což je neoprávněné, neboť nejistota je neoddělitelnou charakteristikou vlastností jakékoliv prognózy. Dříve používané metody nemohou formálně popsat a posoudit všechny možné typy nejistot. Většina metod pouze formulovala nejistotu jenom jako rozdělení pravděpodobnosti postavené na základě subjektivních expertních odhadů, což je ve většině případů zřejmě idealizované. Proto je v těchto metodách nejistota, bez ohledu na její povahu, spojena s nahodilostí, a tím neumožňuje zohlednit všechny možné typy nejistot, které ovlivňují IP.

Z toho důvodu jsem v této práci se rozhodla použit metody aplikované matematiky, protože jak se úkazalo je téměř ideálním nástrojem pro podchycení všech druhů nejistoty, náhodných jevů a systématických chyb při hodnocení vlivu těchto jevů na zhodnocení míry rizika projektu. Jiné nástroje takto komplexní hodnocení různých vlivu na kvalitu přípravy projektu neumožňují. **Novost práce** spočívá zejména v následujících výsledcích výzkumu:

- byla rozpracována metoda konstrukce aproximačního modelu pro stanovení případných odchylek nákladů a přínosů projektu pomocí započítání rizikových položek projektu do peněžních toků s cílem stanovení výsledného ukazatele hodnoty za peníze v podmínkách nejistoty;
- při použití nástroje TNM byl předložen způsob zohlednění řady jeho nedostatků při použití aritmetických operací s neurčitými množinami, zejména přecenění nejistoty, a vysvětleno jak se do modelu s neurčitými množinami zahrnuje korelace mezi rizikovými proměnnými;
- bylo provedeno srovnání dvou pokročilých způsobů při hodnocení rizik s identifikací jejich silných a slabých stránek;

- byly vyjasněny otázky, jak změna typu rozděleni hustoty pravděpodobnosti finančního dopadu identifikovatelného rizika a jak změna typu funkce příslušnosti muže ovlivnit výsledek zkoumaného parametru projektu;
- byla ukázána praktická aplikace teoretických rozpracování této práce na analýze investičního projektu při navrhování a budování rychlostní komunikace kolem Moskvy.

V praktické části disertační práci jsem prokázala, že nejvhodnější je použití neurčitě-intervalového přístupu.

Níže jsou uvedeny **přednosti neurčitě-intervalového přístupu** k ocenění efektivnosti a rizika IP ve srovnání s běžně užívanými metodami:

1. Tento přístup umožňuje formalizovat a použit v jednotné formě všechny dostupné informace (determinovanou, intervalovou, statistickou, lingvistickou), což zvyšuje důvěryhodnost a kvalitu přijímaných řešení.
2. Na rozdíl od intervalové metody, TNM jako metoda Monte Carlo, formuluje plné spektrum možných scénářů vývoje IP, a ne pouze nejvyšší a nejnižší hranici, která neumožňuje přijmout ocenění pouze na základě dvojitého ocenění efektivnosti IP, ale pouze v celém souhrnu ocenění. TNM nepotřebuje absolutně přesné zadání funkce příslušnosti na rozdíl od pravděpodobnostních metod. Výsledek dosažený na základě TNM je charakterizován nízkou citlivostí ke změnám typu funkce příslušnosti vstupních neurčitých čísel. Což se v reálných podmínkách nízké kvality vstupních informací ukazuje jako vhodnější metoda.
3. Ocenění rizik IP na základě TNM se ukazuje jako efektivní v situacích, kdy jsou vstupní informace založené na malých statistických výběrech tj. v případech, kdy nemohou být dosažena pravděpodobnostní ocenění, což je významné při předběžném ocenění dlouhodobých investic, a velmi často za nedostatku informační báze.
4. Implementace TNM na základě intervalové aritmetiky představuje široké možnosti pro použití dané metody v investiční analýze, což je podmíněno faktickým nedostatkem konkurenceschopných metod k vytváření spolehlivého a přesného nástroje při řízení numerických úkolů.
5. Charakterizuje se snadným popisem expertních znalostí.

Z výše uvedeného vyplývá, že TNM je jednou z nejvíce efektivních matematických teorií směrující k formalizaci a zpracování neurčité informace a integrující známé přístupy a metody.

Zatímco metody matematické analýzy zpracovávají přesné vstupní údaje, matematická statistika a teorie pravděpodobnosti zpracovávají data získaná při experimentech, tak aplikování TNM dovoluje zpracovávat informace různého obsahu, kvality, rozsahu, způsobu vyjádřeni (slovní / číselná), které se získávají při studiu a rozboru reálného investičního úkolů. **Unikátnost** dané metody při hodnocení ekonomického ukazatele (VfM) za podmínek rizika a nejistoty je založena na následujících bodech:

- povoluje použití typů neurčitých intervalů (čísel) čistých peněžních toků rizikových faktorů projektu jako vstupní proměnné NPV převoditelných a zadržených rizik projektu.
- umožňuje vyhnout se problému přehodnocení množství faktorů nejistoty při výpočtu ukazatelů ekonomické efektivností (NPV, IRR apod.) a rizika IP při nejistotě vstupních parametrů, což vede k vyloučení nevhodných scénářů vývoje. Důsledkem je snížení úrovně nejistoty ukazatelů efektivnosti IP a z toho vyplývající vyšší odůvodněnost a adekvátnost přijímaných investičních řešení.
- bere v úvahu poměr závislosti (vzájemného působení) mezi vstupními neurčitými proměnnými rizikových faktorů IP, což také vede k vyloučení nevhodných scénářů vývoje a následně ke snížení úrovně nejistoty ukazatelů efektivnosti IP.

Nejistota je charakteristickou vlastností rizika, a proto se její existence musí zvažovat při rozhodování v přijetí adekvátnějších řešení. Při práci na tomto výzkumném úkolu bylo vhodné používat aplikace formálních metod a moderních informačních technologií.
V této práce je provedeno praktické uplatnění mnou předložených modelů vedoucích k eliminaci nedostatků každé z pokročíle metody při hodnocení rizik projektu realizovaného formou partnerství veřejného a soukromého sektoru při neurčité vstupní informaci, na základě jejich softwarové implementace s těmito dílčími závěry:

1. Bylo odůvodněno použití softwarového systému MATLAB a add-in programu Crystal Ball, v nichž jsem softwarově realizovala výpočty zpracovaných modelů a metod.
2. Bylo provedeno hodnocení rizik projektu z hlediska integrovaného převoditelného rizika pro stanovení ukazatele hodnoty za peníze (VfM) v projektu realizovaném formou partnerství soukromého a veřejného sektoru prostřednictvím aplikace metod navržených v kapitole 4. Byla prokázána účinnost navrženého algoritmu řešení problému souvísejicí s „přeceněním nejistoty“ který brání „přeceňování“ nejistoty vytvořené fuzzy množiny ukazatele integrovaného převoditelného rizika projektu a zohledňuje závislosti neurčitých veličin (viz kap.5).
3. Bylo provedeno porovnávání výsledků neurčitého a intervalově- pravděpodobnostního přístupu pro posuzování rizik projektu z hlediska integrovaného převedeného rizika pro určení rozhodujícího ukazatele rozpočtové efektivity (hodnoty za peníze) prostřednictvím různých typů funkcí příslušností a funkcí rozdělení pravděpodobnosti. Srovnání výsledků neurčitého a intervalově-pravděpodobnostního přístupu ukázalo, že se zachovává poměr mezi funkcí příslušnosti a pravděpodobnostním rozdělením, kdy neurčite číslo je výsledek získaný použitím rozšířených aritmetických operací podle pravidel neurčité matematiky.
4. Byl ověřen předpoklad o vhodnějším použití neurčitého přístupu před intervalově-pravděpodobnostním na základě provedeného porovnání dosažených výsledků za použití

různých typů pravděpodobnostních rozdělení a funkcí příslušnosti. Zkoumání výsledného ukazatele v citlivosti na tyto změny prokázálo, že výsledky simulací při použití různých typů pravděpodobnostních rozdělení hodnoty sledovaných parametrů mají vyšší citlivost na výběr typů pravděpodobnostního rozdělení na rozdíl od neurčitého. Změna typů a tvaru funkce příslušnosti měla menší vliv na výsledný ukazatel.

5. Na základě praktické aplikace vyvinutých modelů a metod byly ukázané výhody a nevýhody jednotlivých přístupů při formalizaci nejistoty. Dále byly ukázány další výhody použití TNM v možnosti formalizace v jediném modelu různých makro-, mikroekonomických parametrů investičního projektu. Bylo provedeného srovnání dvou použitých metod (metody Monte Carlo a Fuzzy Inferenčního systému) a zjištěno, že dosažené hodnoty jsou podobné. Metoda Monte Carlo je přesnější a vhodnější v případě, že máme k dispozici alespoň minimální statistickou informaci, protože bere na zřetel vzájemnou závislost mezi rizikovými faktory a případnými scénáři. Fuzzy interferenční systém lze použít za jakékoliv kvality a kvantity informace, není sice tak přesný, ale zaručuje dosažení výsledku v určitém intervalu. Takže je možné konstatovat, že **tyto metody si vzájemně nekonkurují, ale naopak se doplňují**. Tedy nejde o jakousi zjednodušenou náhradu pravděpodobnostních přístupů při provedení analýzy rizik projektu neurčitým přístupem, ale o postupný krok k racionálnímu spojení jejich předností v závislosti na rozsahu datových souborů používaných při stanovení statistických charakteristik rizikových proměnných a na zkušenostech a míře přesvědčivosti rozhodující osoby o charakteru vlastnosti určitého rizika.

Z mých teoretických a praktických výsledků vyplynuly **zvláštnosti a přednosti** používání neurčitého přístupu k formalizaci nejistoty před jinými přístupy, včetně srovnání s intervalově-pravděpodobnostním přístupem.

Při neúplných informací o složitém procesu se jeví jako vhodnější uvažovat o nepřesně zadaných parametrech jako o neurčitých množinách a při práci s nimi používat aparát **Teorie neurčitých množin (TNM)**.

Literatura

Knihy, časopisy a sborníky:

1. Andersen, A., The State of the Practice of Value for Money Analysis in Comparing Public Private Partnerships to Traditional Procurements // *Public Works Management Policy*, 2008, Vol. 13, №2, pp. 114-125.
2. Bellman, G., Zadeh, L. Decision making in fuzzy envvironment // Management Science. – 1970. – Vol.17.
3. Berka, P. Inteligentní systémy. Vysoká škola ekonomická v Praze, Nakladatelství Oeconomica, 2008. ISBN 978-80-245-1436-9.
4. Borisov, A. N., Alekseev, A. V., Merkureva, G. V. Obrabotka nečetkoj informacii v sistemach prinjatija rešenij. Moskva: Radio i svjaz, 1989.
5. Brealy R.A., Meyers S.C. Teorie a praxe firemních financí. Praha: Computer Press, 2000. ISBN: 80-7226-189-4.
6. Damodaran, A. Investment valuation. Tools and Techniques for Determining the value of Any Asset, 2nd ed. Published by John Wiley & Sons, Inc., New York, 2002. ISBN 0-471-41490-5.
7. Diligenskij,N.V.,Dymova,L.G.,Sevastjanov,P.V.Nečetkoe modelirovanie i mnogokriterialnaja optimizacija proizvodstvennych sistem v uslovijach neopredelennosti: technologija, ekonomika, ekologija. Moskva: Mašinostroenie – 1, 2004.
8. Djubua, A., Prad, A. Teorija vozmožnostej. Priloženija k predstavleniju znanij v informatike. Per. s fran. Moskva: Radio i svjaz, 1990.
9. Dong, W. M., Shah, H.C. Vertex method for computing functions of fuzzy variables // Fuzzy Sets and Systems, 1987, Vol.24, №1, pp. 65-78.
10. Dostál, P. Pokročilé metody analýz a modelování v podnikatelství a veřejné správě. Akademické nakladatelství CERM, 2008, ISBN 978-80-7204-605-8.
11. Dubois, D., Prade, H. Fuzzy Real Algebra: Some Results // Fuzzy Sets and Systems, 1979, Vol.2, №4, pp. 327-348.
12. Dubois, D., Prade, H. Fuzzy Sets and Systems: Theory and Application. – New York: Academic Press, 1980.
13. Fotr, J., Souček, I. Podnikatelský záměr a investiční rozhodování. Praha: Grada Publishing, 2005. ISBN 80-247-0939-2.
14. Friedman, M., Savage, L.J. The utility analysis of choices involving risk. Jornal of Political Economy 1948, Vol.4., pp. 279-304.
15. Gorodeckij, A.E., Tarasova, I.L. Nečetkoe matematičeskoe modelirovanie plocho formalizuemych processov i sistem. Sank-Peterburg: Iydatelstvo Politěchničeskogo universiteta, 2010. ISBN 978-5-7422-2450-1.

16. Hansen E. A generalized interval arithmetic. // Interval Mathematics /Ed. by K. Nickel. Lecture Notes in Computer Science, 29. Berlin. Heidelberg: Springer-Verl., 1975. pp.7 – 18.
17. Hebák, P. Srovnání klasické a Bayesovské pravděpodobnosti a statistiky. // Acta Oeconomica Pragensia, 2012, №1, str. 69 – 86.
18. Hebák, P. Pravděpodobnostní rozhodování v ekonomických situacích. Vysoká škola ekonomická v Praze, Nakladatelství Oeconomica, 2007. ISBN 978-80-245-1247-1.
19. Hnilica, J., Fotr, J. Aplikovaná analýza rizika ve finančním managementu a investičním rozhodování. Praha: Grada Publishing, 2009. ISBN 978-80-247-2560-4.
20. Hurwicz, L. Optimality Criteria for Decision Making under Ignorance. Cowles commission papers 1951, №370.
21. Chimmelblau, D. Analiz processov statističeskimi metodami. Moskva: Mir, 1973.
22. Kalmykov, S. A., Šokin, J. I., Judašev, Z. Ch. Metody intervalnogo analiza. Novosibirsk: Nauka, 1986.
23. Kislingerová E., a kol. Manažerské finance. Praha: C.H.Beck 2007. ISBN 978-80-7179-903-0.
24. Klir, G.J. Fuzzy Arithmetic with Requisitw Constrains // Fuzzy Sets and Systems, 1997, №91, pp. 165-175.
25. KPMG, Rizika silničních a železničních projektů realizovaných formou PPP: Zpráva pro Ministerstvo dopravy České republiky, 2006.
26. Kuchta, D. Fuzzy Capital Budgeting // Fuzzy Sets and Systems, 2000, № 111, pp.367-385.
27. Leoninkov, A. Nečetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH. SPb: BCHV – Peterburg, 2005. ISBN 5-94157-087-2.
28. Luc Jaulin, Michel Kieffer, Olivier Didrit, Eric Walter. Applied interval analysis. London: Springer-Verlag, 2001.
29. Mařík M. Určování hodnoty firem. Praha Ekopress, 1998. ISBN 80-86119-09-2.
30. Molak, V. Fundamentals of Risk Analysis and Risk Management, CRC Press LLc, Boca Raton, Florida, 1997. ISBN 1-56670-130-9.
31. Moore, R.E. Interval analysis. – Englewood, Cliffs, N.Y.: Prentice-Hall, 1966.
32. Mun, J. Modelling Risk. JohnWiley&Sons, 2006, ISBN 0-471-78900-3.
33. Navara, M., Olšak, P. Základy fuzzy množin. Praha: Nakladatelství ČVUT 2007. ISBN 978-80-01-03668-6.
34. Nedosekin, A. O. Nečetko-množestvennyj analiz riska fondovych investicij. SPb: Tipografija „ Sejam“, 2002.
35. Nguyen, H.T. A Note on the Extension Principle for Fuzzy Sets // Journal of Mathematical Analysis and Applications, 1978, № 64, pp. 369 – 380.
36. Novák, V. Fuzzy množiny a jejich aplikace. Praha: SNTL 1986.
37. Novák, V. Základy fuzzy modelování. BEN, Praha, 2000.

38. Novák, V., Lehmke, S. Logical strukture of fuzzy IF-THEN rules, Fuzzy Sets and Systems 157 (2006) 2003-2029 pp.
39. Ochrana, F. Metodologie vědy. Úvod do problému. Praha: Nakladatelství Karolinum, 2010. ISBN 978-80-246-1609-4.
40. Ostrouško, V. Aplikace teorie neurčitých množin (TNM) při hodnocení ekonomické efektivnosti a rizik investičního projektu v podmínkách nejistoty. In: Hradecké ekonomické dny 2010. Ekonomický rozvoj a management regionů. Hradec Králové: Univerzita Hradec Králové, 2010, s. 32 – 36. ISBN 978-80-7435-041-2.
41. Ostrouško, V. Nové metody risk managementu investičních projektů. In: Ekonomika a management č. 4/2009, str. 40-51. Praha: Oeconomica. ISSN 1802-8470.
42. Ostrouško, V. Partnerství veřejného a soukromého sektoru a analýza jeho zkušeností v ČR, Bratislava 27.04.2006 – 28.04.2006 In: Management hodnoty podniku 2006. Bratislava : Bratislavská vysoka škola práva, 2006. ISBN 80-969332-6-4.
43. Ostřížek, J., a kol. Public Private Partnership příležitost a výzva. Praha, C.H. Beck, 2007, ISBN 978-80-7179-744-9.
44. Pawlak, Z. Rough relations// Pr. IPI PAN. 1981. № 435.p.10.
45. Redched , K., Chjus, S. Upravlenie finansovymi riskami / Per. s angl. – Moskva: Infra-M, 1996.
46. Shafer, G. A Mathematical Theory of Evidence. Princeton: Princeton University Press, 1976.
47. Shannon, E. Systems simulations: The Art and the Science. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 2000.
48. Smejkal, V., Rats, K. Řízení rizik ve firmách a jiných organizacích. Praha: Grada Publishing 2006. ISBN 80-247-1667-4.
49. Synek, M. Manažerská ekonomika. Praha: Grada Publishing 2003. ISBN 80-247-0515-X.
50. Šokin, J. I. Intervalnyj analiz. Novosibirsk: Nauka. Sib.otdelenie, 1981.
51. Tichý, M. Ovládání rizika, analýza a management. Praha: C.H.Beck 2006. ISBN 80-7179-415-5.
52. Veber, J. a kol. Management. Základy, prosperita, globalizace. Praha: Management Press, 2000, ISBN 80-7261-029-5.
53. Vilenskij, P. L., Livšic, V. N., Smoljak, S. A. Ocenka effektivnosti investicionnych proektov. Teorija i praktika. Moskva: Dělo, 2004.
54. Yager, R. A foundation for a theory of posibility// J. of Cybernetics. 1980. Vol. 10, 177-209 pp.
55. Yager, R. On the Evaluation of Uncertain Courses of action.//Fuzzy Optimization and Decision Making. A Jornal of Modeling and Computation Under Uncertainty. – 2002.-Vol.1. № 1. ISSN: 1568-4539.

56. Zadeh L.A. Fuzzy Sets// Information and Control, 1965, Vol.8, №3, pp. 338-353.
57. Zadeh, L.A. Fuzzy sets as a basis for a theory of posibility// Fuzzy Sets and Systems.1978. Vol.1. № 1. P.3-28.

Metodiky a dokumenty:

1. A Guide to Cost-benefit Analysis of Investment Projekts. – DG Regional Polisy, European Commission, 2000
2. HM Treasury,*Green Book: Appraisal and Evaluation in Central Government.* London, 2003
3. Jenkins G.P., Harberger A.C. Cost-benefit Analysis of Investment Decision. Manual. – Queen´s University, Canada, 2011.
4. Koncepce reformy veřejných rozpočtů. Schváloená vládou ČR usnesením č. 624/2003.
5. Metodické pokyny pro hodnocení efektivity investičních projektů schválených Ministerstvem hospodářství Ruské federace, Ministerstvem financí Ruské federace a Státním výborem Ruské federace pro stavebnictví, architekturu a bytové politiky číslo 477 VK 21. 06. 1999.
6. Public-private partnership, government guarantees, and fiscal risk. Prepared by a staff team led by Richard Hemming. – Washington D.C.: International Monetary Fund, 2006. ISBN 1-58906-493-3.
7. Zavádění systému partnerství mezi veřejným a soukromým sektorem v ČR. CZ05.02.04.02.0002, VZ60004428. „Metodika hodnocení kvantitativních aspektů hodnoty za peníze v projektech PPP“

www stranky:

1. Kyburg H. Interval-valued Probabilities // www.sedok.narod.ru/s-files/poland//81.pdf.
2. Novák,V. Modeling with words, 2008, Scholarpedia, // www.scholarpedia.org/article/Modeling-with-words
3. http://cs.wikipedia.org/wiki/Kolmogorovovy_axiomy
4. http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/
5. www.mfcr.cz/cps/rde/xbcr/mfcr/PPP_euro_brezen2004_doc.doc
6. http://www.irit.fr/~Didier.Dubois/
7. www.gendocs.ru/v23554/методы_снижения_неопределенности
8. www.nbuv.gov.ua/portal/Soc_Gum/Bi/2009_2/2(2)/64-67.pdf

Přílohy

Příloha k 4. kapitole

Tab. č. 1 Seznam rizik projektu pro kvantitativní hodnocení.

Číslo	Název rizika	Popis rizika	Základ / báze rizika	Stadium projevování následků rizika	Zodpovědná strana
1.1	Riziko sítí	Trasa nové silnice se kříží s existujícím elektrickým vedením, plynovým, vodovodním , kanalizačním potrubím nebo telekomunikacemi a jinými existujícími konstrukcemi, které nebyly objeveny v době projektování.	Náklady na práci pro přípravu pozemku pro výstavbu	Výstavba	Veřejný sektor
1.2	Riziko geologické a hydrologické expertízy	Geologická a hydrogeologická expertíza nebyla náležitě provedena (v první řadě se to týká složitých konstrukcí – mostů a tunelů).	Náklady na zemní práce (50% z vypočtených rozpočtových nákladů výstavby) + ½ příjmu za 1.rok provozu	Výstavba	Veřejný sektor
1.3	Riziko archeologické expertizy	Archeologická expertiza nebyla náležitě provedena, v důsledku čehož se mohou potenciálně prodloužit lhůty a náklady výstavby.	Příjem za 1.rok provozu	Provoz	Veřejný sektor
2	Pozastavení (nemožnost) přidělení pozemků k výstavbě trasy a půdy v rámci přidělovacího pásma.	Pozastavení nebo faktická nemožnost přidělení pozemků (odnětí ve prospěch veřejného sektoru a předání uživatelského práva Koncesionáři) z různých důvodů.	Kompenzace za půdu + Příprava pozemku k výstavbě + Náklady na zemní práce (50% vypočtených rozpočtových nákladů výstavby) za 1. rok výstavby	Výstavba	Veřejný sektor
3	Riziko nedostatečné průhlednosti konkurzu, diskriminace účastníků a intervence nebo protekce ze strany veřejného sektoru	Proces konkurzu se může jevit jako nedostatečně průhledný. To může mít negativní vliv na cenové návrhy účastníků, může se to negativně projevit na vnímání projektu veřejností a ovlivnit možnosti financování projektu. Negativní vnímání průhlednosti výběrového řízení může zkomplikovat uznání vítěze konkurzu jinými účastníky, proti výsledkům konkurzu může být podáno odvolání k soudu, což může vést k průtahům v realizaci projektu. Diskriminace jednoho nebo několika účastníků (prostřednictvím diskriminačních kritérií konkurzu, podmínek, pravidel, procedur) je neefektivní pro projekt, a proti ní může být také ze strany účastníků podáno odvolání k soudu.	Náklady na provedení konkurzu	Stadium projektování, koordinace a upravení smluvních vztahů (PSO)	Veřejný sektor
4	Riziko nedosažení	Riziko neposkytnutí kapitálu financujícími organizacemi	Náklady na vypracování	PSO	Koncesionář

	finančního uzavření	v souvislosti s nesouladem projektu s požadavky úvěrových organizací, ekologickými požadavky.	projektové dokumentace + Náklady na zemní práce (50% vypočtených rozpočtových nákladů výstavby) za 1. rok výstavby. Základ tohoto rizika je spojen se změnou grafu výstavby.		
5.1	Chyby v projektové a pracovní dokumentaci	Vypracovaná dokumentace (varianty projektu) neodpovídají faktické úrovni dopravního toku, klimatickým / hydrometeorologickým a jiným provozním podmínkám, a také obsahuje chyby.	Náklady na vypracování projektové a pracovní dokumentace	Výstavba	Veřejný sektor / Koncesionář
5.2	Chyby v projektové a pracovní dokumentaci (riziko optimální konfigurace trasy a její spojení se silniční síti)	Konfigurace trasy a její spojení se silniční síti není optimální z hlediska udržování dopravní funkce centrálního dálničního okruhu. Design silnice není efektivní, včetně hlediska minimálního vlivu na existující zástavbu, okolní prostředí atd.	Náklady na vypracování projektové dokumentace + příjmy odpovídajících let do konce 2.řady výstavby	Provoz	Veřejný sektor
6.1	Překročení/snížení rozpočtových výdajů na stavbu trasy (1.řada výstavby)	Faktické výdaje na výstavbu trasy překračují výdaje dle rozpočtu. Inflační růst výdajů na výstavbu je vyšší než prognózní.	Výdaje na stavbu 1.řady výstavby odpovídajícího roku výstavby	Výstavba	Koncesionář
6.2	Překročení/snížení rozpočtových výdajů na stavbu trasy (2.řada výstavby)		Výdaje na stavbu 2.řady výstavby odpovídajícího roku výstavby	Výstavba	Koncesionář
7.1	Překročení lhůty výstavby 1.řady	Dodavatelé a subdodavatelé neprovádějí práce a neposkytují technologie ve sjednané lhůtě a náležité kvalitě v souladu se smlouvami. Z viny dodavatele nebylo zajištěno zapojení odborné pracovní síly, nákup a dovoz stavebních materiálů a techniky, byly porušeny pravidla provozu a bezpečnosti práce. Zpoždění ze strany dodavatele vyvolává další zpoždění v řetězci organizace stavby. Bankrot a platební neschopnost dodavatelů. Povinnosti dodavatelů a subdodavatelů ohledně záruky na vykonanou práci a dodávky nemusí být dodrženy.	Příjmy za 1.rok provozu po ukončení 1.řady výstavby	Provoz	Koncesionář
7.2	Překročení lhůty výstavby 2.řady		Příjmy za 1.rok provozu po ukončení 2.řady výstavby	Provoz	Koncesionář

8	Překročení rozpočtových výdajů na provoz trasy	Faktické výdaje na provoz trasy překračují rozpočtové výdaje (včetně důsledku nepředvídatelného růstu dopravních toků). Inflační růst výdajů na provoz trasy je vyšší než prognózní.	Provozní náklady v odpovídajícím roce	Provoz	Koncesionář
9.1	Riziko technické správy a údržby dálnice (překročení výdajů na běžnou opravu)	V průběhu provozní lhůty je Koncesionář povinen udržovat dálnici v náležitém provozním stavu. Technická obsluha v zimním období vyžaduje značné výdaje a udržování funkčnosti dálnice; povrch dálnice musí být bez sněhu, stav pokrytí vozovky musí zajišťovat dobré charakteristiky tření a nízkého odporů proti houpání. V zimním období používané chemické prostředky mohou mít nežádoucí vliv na techniku a pokrytí vozovky. Neoperativní provedení prací, odstraňujících poškození vozovky a silniční infrastruktury. Nedodržení požadavků ohledně zabudování dopravních značek (například, při uzavření jízdních pruhů).	Výdaje na běžnou opravu v odpovídajícím roce + 1/12(měsíční) tržba za rok, v němž se prováděla běžná oprava	Provoz	Koncesionář
9.2	Riziko technické obsluhy dálnice (překročení výdajů na generální opravu)		Výdaje na běžnou opravu v odpovídajícím roce + ¼ tržby (čtvrtletní) v následujícím roce provozu	Provoz	Koncesionář
10	Specifická rizika, spojená se systémem výběru poplatků	Systém výběru poplatků vyžaduje kvalitní zařízení, nepřetržitou obsluhu vysoké kvality a operativní odstranění technických výpadků a poruch. Silnice se může stát objetí vandalismu a také podléhat negativním klimatickým vlivům. Systém výběru poplatků může omezovat bezpečnost silničního provozu na silnici. Riziko morálního stárnutí systému výběru poplatků.	Tržba od okamžiku úplného uvedení do provozu placeného dálničního okruhu (rok 2025)	Provoz	Veřejný sektor

Příloha k 5 kapitole

Tab. č. 1 Intervalově-pravděpodobnostní hodnoceni rizik projektu realizovaného formou veřejné zakázky

№ rizika	Aktiv/ báze mln. rub.	Scénář	Veřejná zakázka			
			Pravděpodobnost	**Dopad, %**	**Dopad, mln. rub**	**Pravděpodobnostní dopad, mln. rub**
1.1	1 798	Beze změny	75%	0%	0	0
		Malé navýšení nákladů	15%	10%	180	27
		Střední navýšení nákladů	8%	20%	360	28,8
		Velké navýšení nákladů	2%	30%	539	10,78
		Součet	**66,58**			
1.2	5 934	Beze změny	85%	0%	0	0
		Malé navýšení nákladů	7%	15%	890	62,3
		Střední navýšení nákladů	5%	30%	1 780	89
		Velké navýšení nákladů	3%	45%	2 670	80,1
		Součet	**231,4**			
1.3	2 754	Beze změny	85%	0%	0	0
		Malé navýšení nákladů	7%	20%	551	38,6
		Střední navýšení nákladů	5%	35%	964	48,2
		Velké navýšení nákladů	3%	40%	1 101	33
		Součet	**119,8**			
2	7 026	Beze změny	70%	0%	0	0
		Malé navýšení nákladů	20%	20%	1 405	281
		Střední navýšení nákladů	7%	30%	2 108	147,6
		Velké navýšení nákladů	3%	40%	2 810	84,3
		Součet	**512,9**			
3	50	Beze změny	-	-	-	-
		Se změnou	-	-	-	-
		Součet	-			
4	5 467	Beze změny	-	-	-	-
		Se změnou	-	-	-	-
		Součet	-			
5.1	1 260	Beze změny	50%	0%	0	0

		Malé navýšení nákladů	30%	40%	504	151,2
		Střední navýšení nákladů	15%	60%	756	113,4
		Velké navýšení nákladů	5%	80%	1 008	50,4
		Součet	**315**			
5.2	3 664	Beze změny	90%	0%	0	0
		Malé navýšení nákladů	5%	30%	1 099	55
		Střední navýšení nákladů	3%	40%	1 466	44
		Velké navýšení nákladů	2%	50%	1 832	36,64
		Součet	**135,64**			
6.1	9 115	Beze změny	5%	0%	0	0
		Malé navýšení nákladů	25%	20%	1 823	455,75
		Střední navýšení nákladů	50%	55%	5 013	2 506,5
		Velké navýšení nákladů	20%	90%	8 203	1 640,6
		Součet	**4 602,85**			
6.2	7 247	Beze změny	5%	0%	0	0
		Malé navýšení nákladů	30%	20%	1 449	434,7
		Střední navýšení nákladů	50%	55%	3 986	1 993
		Velké navýšení nákladů	15%	90%	6 522	978,3
		Součet	**3 406**			
7.1	2 754	Beze změny	15%	0%	0	0
		Se změnou	85%	100%	2 754	2 341
		Součet	**2 341**			
7.2	1 706	Beze změny	15%	0%	0	0
		Se změnou	85%	100%	1 706	1 450,1
		Součet	**1 450,1**			
8	100	Beze změny	20%	0%	0	0
		Malé navýšení nákladů	40%	17%	17	6,8
		Střední navýšení nákladů	25%	50%	50	12,5
		Velké navýšení nákladů	15%	83%	83	12,45
		Součet	**31,75**			
9.1	996 – PSC 635 - PPP	Beze změny	5%	0%	0	0
		Malé navýšení	10%	20%	199	19,9

		nákladů				
		Střední navýšení nákladů	50%	55%	548	274
		Velké navýšení nákladů	35%	90%	896	313,6
		Součet	**607,5**			
9.2	6 232 – PSC 3 302 - PPP	Beze změny	5%	0%	0	0
		Malé navýšení nákladů	10%	20%	1 246	124,6
		Střední navýšení nákladů	50%	55%	3 428	1 714
		Velké navýšení nákladů	35%	90%	5 609	1 963,15
		Součet	**3 801,75**			
10	6 388	Beze změny	50%	0%	0	0
		Malé navýšení nákladů	30%	15%	958	287,4
		Střední navýšení nákladů	15%	30%	1 916	287,4
		Velké navýšení nákladů	5%	45%	2 874	143,7
		Součet	**718,5**			

Poznámka.

Pro následující rizika: 1.2; 5.2; 6.1; 6.2; 8; 9.1; 9.2;10 byly stanovené různé základy (báze) rizik v jednotlivých letech realizace projektu souvisejících s plánovanými výdaji a příjmy určitého roku.

Příloha k 5 části

Tab. č. 2 Intervalově-pravděpodobnostní hodnoceni rizik projektu realizovaného formou PPP

№ rizika	Aktiv/ báze mln. rub.	Scénář	PPP projekt			
			Pravděpodobnost	Dopad, %	Dopad, mln. rub	Pravděpodobnostní dopad,mln.rub
1.1	1 798	Beze změny	75%	0%	0	0
		Malé navýšení nákladů	15%	10%	180	27
		Střední navýšení nákladů	8%	20%	360	28,8
		Velké navýšení nákladů	2%	30%	539	10,78
		Součet	**66,58**			
1.2	5 934	Beze změny	85%	0%	0	0
		Malé navýšení nákladů	7%	15%	890	62,3
		Střední navýšení nákladů	5%	30%	1 780	89
		Velké navýšení nákladů	3%	45%	2 670	80,1
		Součet	**231,4**			
1.3	2 754	Beze změny	85%	0%	0	0
		Malé navýšení nákladů	7%	20%	551	38,6
		Střední navýšení nákladů	5%	35%	964	48,2
		Velké navýšení nákladů	3%	40%	1 101	33
		Součet	**119,8**			
2	7 026	Beze změny	70%	0%	0	0
		Malé navýšení nákladů	20%	20%	1 405	281
		Střední navýšení nákladů	7%	30%	2 108	147,6
		Velké navýšení nákladů	3%	40%	2 810	84,3
		Součet	**512,9**			
3	50	Beze změny	85%	0	0	0
		Se změnou	15%	100	50	7.5
		Součet	**7.5**			
4	5 467	Beze změny	95%	0	0	0
		Se změnou	5%	100	5 467	273.35
		Součet	**273.35**			
5.1	1 260	Beze změny	80%	0%	0	0

		Malé navýšení nákladů	10%	30%	378/2=189	18.9
		Střední navýšení nákladů	6%	40%	504/2=252	15,12
		Velké navýšení nákladů	4%	50%	630/2=315	12,6
		Součet	**46.62**			
5.2	3 664	Beze změny	90%	0%	0	0
		Malé navýšení nákladů	5%	30%	1 099	55
		Střední navýšení nákladů	3%	40%	1 466	44
		Velké navýšení nákladů	2%	50%	1 832	36,64
		Součet	**135,64**			
6.1	9 115	Střední snížení nákladů	5%	-20%	-1 823	-91,15
		Malé snížení nákladů	25%	-10%	-911	-227,75
		Beze změny	60%	0%	0	0
		Malé navýšení nákladů	10%	10%	911	91,1
		Součet	**-227,8**			
6.2	7 247	Střední snížení nákladů	5%	-20%	-1 449	-72,45
		Malé snížení nákladů	25%	-10%	-725	-181,25
		Beze změny	60%	0%	0	0
		Malé navýšení nákladů	10%	10%	725	72,5
		Součet	**-181,2**			
7.1	2 754	Beze změny	75%	0%	0	0
		Se změnou	25%	100%	2 754	688,5
		Součet	**688,5**			
7.2	1 706	Beze změny	75%	0%	0	0
		Se změnou	25%	100%	1 706	426,5
		Součet	**426,5**			
8	100	Beze změny	40%	0%	0	0
		Malé navýšení nákladů	40%	17%	17	6,8
		Střední navýšení nákladů	15%	50%	50	7,5
		Velké navýšení nákladů	5%	83%	83	4,15
		Součet	**18,45**			
9.1	996 – PSC 635 - PPP	Beze změny	30%	0%	0	0
		Malé navýšení nákladů	40%	17%	108	43,2

		Střední navýšení nákladů	20%	50%	318	63,6
		Velké navýšení nákladů	10%	83%	527	52,7
		Součet	**159,5**			
9.2	6 232 – PSC 3 302 - PPP	Beze změny	30%	0%	0	0
		Malé navýšení nákladů	40%	17%	561,34	224,6
		Střední navýšení nákladů	20%	50%	1 651	330,2
		Velké navýšení nákladů	10%	83%	2 740,7	274,1
		Součet	**828,9**			
10	6 388	Beze změny	50%	0%	0	0
		Malé navýšení nákladů	30%	15%	958	287,4
		Střední navýšení nákladů	15%	30%	1 916	287,4
		Velké navýšení nákladů	5%	45%	2 874	143,7
		Součet	**718,5**			

Poznámka.

Pro následující rizika: 1.2; 5.2; 6.1; 6.2; 8; 9.1; 9.2;10 byly stanovené různé základy (báze) rizik v jednotlivých letech realizace projektu souvisejících s plánovanými výdaji a příjmy určitého roku.

Příloha k 5 kapitole

Tab. č. 3 Finanční model zadržených rizik projektu realizovaného formou veřejné zakázky

Roky		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023-2045	2046	2047	2048
Riziko sítí		66													
Riziko geologické expertízy			231	241	250										
Riziko archeologické expertizy						120									
Riziko přidělení pozemků		513	513												
Riziko konkurzu															
Riziko finančního uzavření															
Chyby v projektové dokumentaci		315	315	315	315										
Riziko konfigurace trasy						135	156	170	194	215					
Riziko systému výběru poplatku													3689	3842	4007
Peněžní tok zadržených rizik		894	1059	556	565	255	156	170	194	215	0	……	3689	3842	4007
Diskontní sazba		6,6%	6,5%	6,2%	5,6%	5%	5%	5%	5%	4,9%	4,8%	……	4,5%	4,5%	4,5%
Diskontní faktor		0,7149	0,6713	0,6324	0,5990	0,5707	0,5438	0,5178	0,4931	0,4701	0,4488	……	0,1541	0,1474	0,1411
Diskontovaný peněžní tok		639	711	352	338	146	85	88	96	101	0	……	568	566	565
NPV zadržených rizik	**14853**														

Příloha k 5 kapitole

Tab. č. 4 Finanční model převedených rizik projektu realizovaného formou veřejné zakázky

Roky	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023-2045	2046	2047	2048
Chyby v projektové dokumentace	315	315	315	315				315	315					
Překročení výdajů na výstavbu 1.ře		4603	4856	5075										
Překročení výdajů na výstavbu 2. ř								3406	3512					
Překročení lhůty výstavby 1. řada					2341									
Překročení lhůty výstavby 2. řada										1450				
Překročení výdajů na provoz					32	33	34	35	36	49		83	84	86
Překročení výdajů na běžnou oprav								608						2535
Překročení výdajů na generální opr														
Peněžní tok zadržených rizik	315	4918	5171	5390	2372	33	34	4364	3863	1499	……	83	84	2621
Diskontní sazba	6,6%	6,5%	6,2%	5,6%	5%	5%	5%	5%	4,9%	4,8%	……	4,5%	4,5%	4,5%
Diskontní faktor	0,7149	0,6713	0,6324	0,5990	0,5707	0,5438	0,5178	0,4931	0,4701	0,4488	……	0,1541	0,1474	0,1411
Diskontovaný peněžní tok	225	3301	3270	3229	1354	18	18	2152	1816	673	……	13	12	371
NPV převedených rizik **23748**														

Příloha ke kapitole 6. č. 1

Realizace modelování a hodnocení převoditelných rizik projektu pomocí simulace metodou Monte Carlo.

Klíčové faktory rizika byly stanoveny expertní metodou za účasti členů projektového týmu. Expertní analýza spočívala v identifikaci rizikových faktorů projektu, odhadu intervalů dopadů rizikových faktorů s přiřazením jejich pravděpodobnosti výskytu, viz příloha k 5. kapitole. Klíčová rizika ovlivňující realizaci projektu jsou uvedená v příloze ke 4. kapitole. Jsou rozdělena na rizika převoditelná (dále označená jako „rizika koncesionáře“) a rizika zadržená („rizika zadavatele“). Jak již bylo řečeno v kapitole 4.3 musí být výsledná hodnota NPV VZ a NPV PPP upravena o hodnotu převedených a zadržených rizik. Vzhledem k tomu, že hodnota zadržených rizik u modelu PPP a VZ se liší jenom o riziko 3 (riziko tendru) a o riziko 4 (riziko nedosažení finančního uzavření), je taková hodnota v poměru k jiným podstatným rizikům skoro zanedbatelná. Proto bylo pro cíle praktického uplatnění rizikové analýzy provedeno hodnocení jenom převoditelných rizik za předpokladu, že zadržená rizika obou modelů jsou stejná. Z toho důvodu byla níže uvedená analýza provedena simulačním přístupem metodou Monte Carlo pro „rizika koncesionáře“. Pro praktické uplatnění simulace metodou Monte Carlo byl zvolen 7. úsek projektované dálnice CKAD.

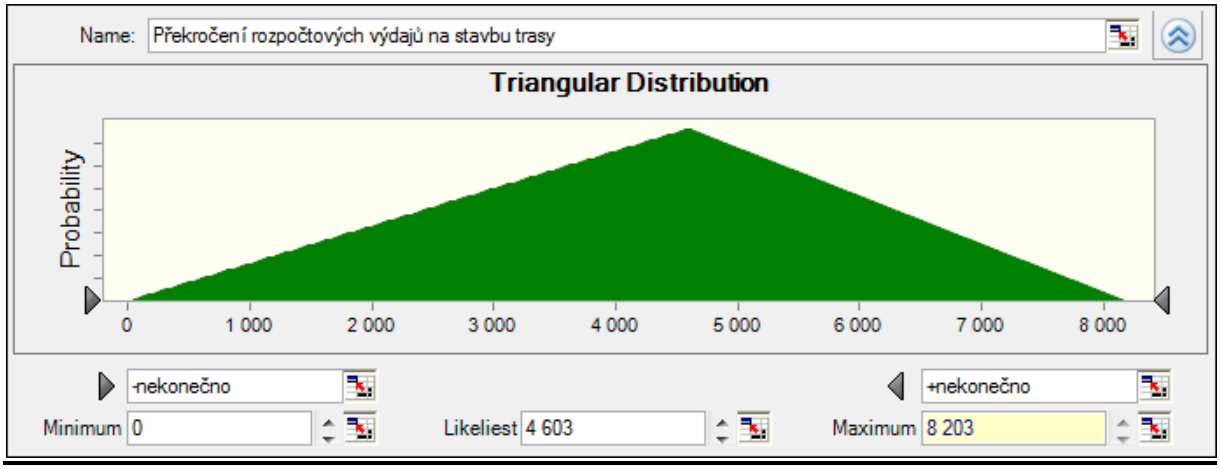
Jak již bylo výše uvedeno v kap. 6.3 porovnávaly se dvě varianty. Pro intervalově-pravděpodobnostní přístup v 1. variantě byly rizikové proměnné nadefinované pomocí různých typů pravděpodobnostních rozdělení (trojúhelníkové, betaPERT, custom) a ve 2. variantě byly pro všechny rizikové proměnné použity customizované funkce rozdělení pravděpodobnosti. Jak bylo odůvodněno v kap. 5.4.2 při použití rozdělení definovaného uživatelem custom rozdělení, může být problém adekvátního použití rozdělení parametrů rizikového faktoru bez dostatečné statistické základny částečně vyřešen. Provádění výpočtu s různými typy funkcí rozdělení pravděpodobnosti umožnilo analyzovat výsledky získané intervalově-pravděpodobnostním způsobem týkající se robustnosti ke změně vstupních údajů rizikových proměnných prováděné na základě expertního hodnocení. Dále jsou uvedeny postupy a výsledky simulací metodou Monte Carlo pro variantu 1 a 2.

Varianta 1

Rizika koncesionáře

Překročení/snížení rozpočtových výdajů na stavbu trasy

Funkce rozdělení pravděpodobnosti a její parametry pro dané riziko jsou uvedeny na obrázku níže.

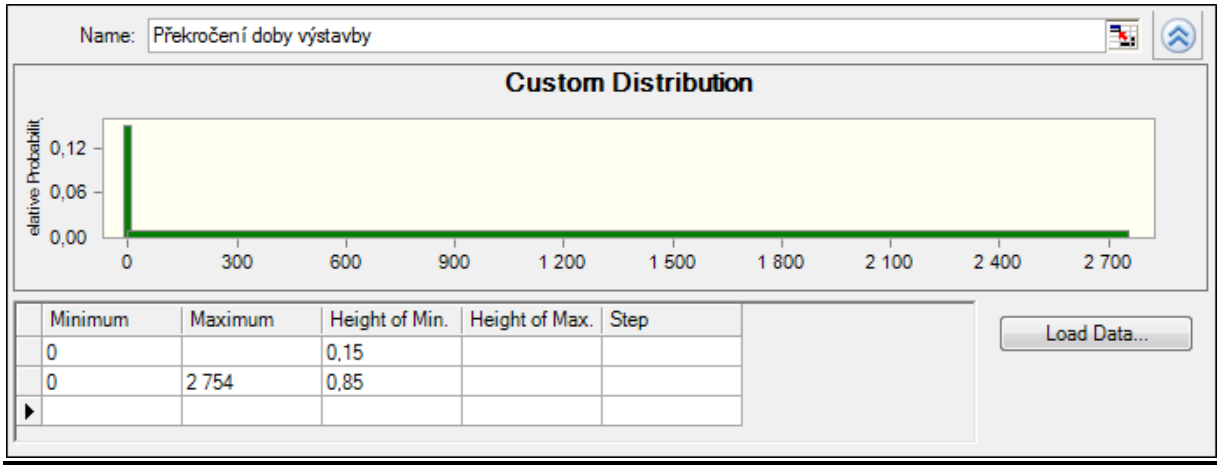


Obrázek 1. Úsek 7 (1. řada výstavby). Riziko překročení rozpočtových výdajů na výstavbu dálnice v případě realizace projektu veřejnou zakázkou

Na obrázku je představena funkce asymetrického trojúhelníkového rozdělení rizika změn nákladů na výstavbu dálnice s převahou vyšších hodnot než je nejpravděpodobnější hodnota (zešikmení doprava). Při stanovení tohoto typu rozdělení pravděpodobnosti rizika byly použity údaje z tabulky č. 1 přílohy k 5. kapitole (veřejná zakázka). Tvar rozdělení se mění v rozsahu možných nákladů (dopad v mln.rub.) v závislosti na určitém základu rizika, který se mění rok od roku. K dopadům tohoto rizika může dojít v období výstavby silnice. Použity byly hodnoty dopadů v závislosti na scénáři a pravděpodobnosti jeho výskytu. Podle ruských expertů činí nejpravděpodobnější převýšení nákladů na výstavbu dálnici kolem 50%. Vzájemná přímá závislost faktorů rizika v čase byla reprezentovaná pomocí autokorelace na úrovni (+ 0,6). Vznik daného rizika má přímou souvislost s rizikem chyb v projektové a pracovní dokumentaci odpovídajícího roku. Koeficient korelace byl stanoven na úrovni (+0,7).

Překročení doby výstavby

Funkce rozdělení pravděpodobnosti a její parametry pro dané riziko jsou uvedeny na obrázku níže.

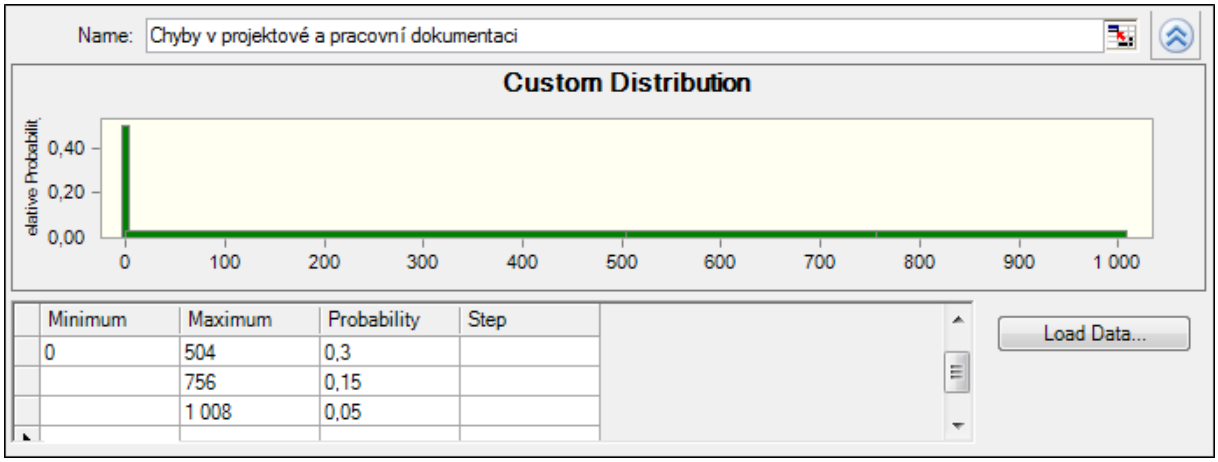


Obrázek 2. Úsek 7 (1. řada výstavby). Riziko překročení doby výstavby v případě realizace projektu ve formě veřejné zakázky

Na obrázku je znázorněna funkce spojitého Custom rozdělení rizika překročení doby výstavby dálnice. Při stanovení tohoto typu rozdělení pravděpodobnosti rizika byly použity údaje z tabulky č.1 přílohy k 5. kapitole (veřejná zakázka). Rozdělení se mění v rozsahu možných nákladů (dopad v mln.rub.) v závislosti na určitém scénáři základu rizika, který se mění rok od roku. K dopadům tohoto rizika může dojít v období zprovoznění silnice. Použity byly hodnoty dopadů v závislosti na scénáři a pravděpodobnosti jeho výskytu. Scénáře dopadů daného rizika byly stanoveny dle Bernoulliho rozdělení pravděpodobností (Ano/Ne rozdělení) s určením pravděpodobnosti jejich výskytů. Toto rozdělení velmi dobře popisuje situaci podmíněné pravděpodobnosti. Když riziko překročení doby výstavby nastane (s pravděpodobností 85%), tak výše hodnot dopadu uvnitř intervalu mají stejnou pravděpodobnost a je těžké stanovit určitou nejpravděpodobnější hodnotu. Toto riziko je z velké části velice obtížně předvídat, protože na ně má vliv hodně nepředvídatelných faktorů obvykle mimo kontrolu zhotovitele stavby. Jedná se ve většině případů o zpoždění uvedení do provozu kvůli odstranění případných nedostatků při předání stavby klientovi.

Chyby v projektové a pracovní dokumentaci

Funkce rozdělení pravděpodobnosti a její parametry pro dané riziko jsou uvedeny na obrázku níže.

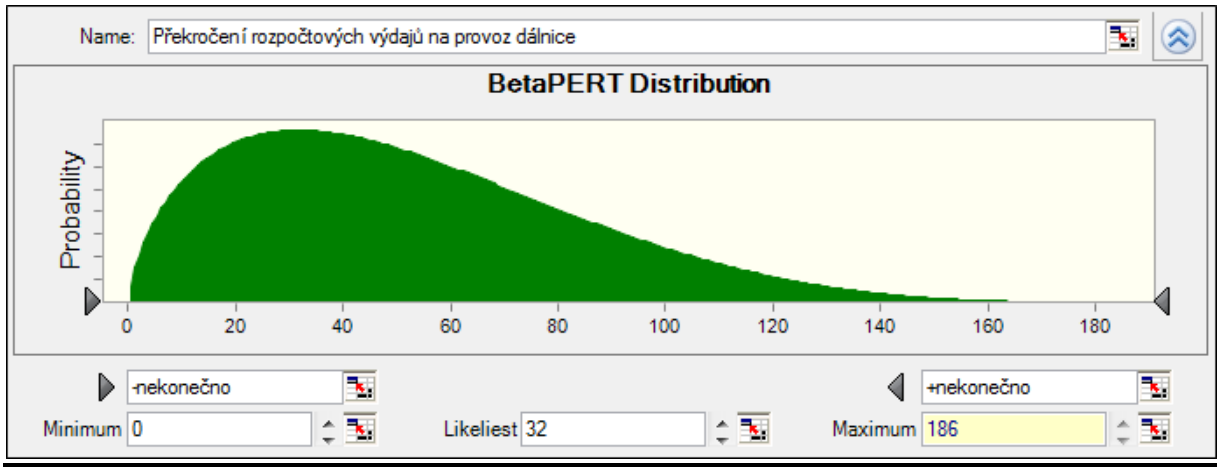


Obrázek 3. Úsek 7. Riziko chyb v projektové a pracovní dokumentaci v případě realizace projektu ve formě veřejné zakázky

V případě realizace daného úseku ve formě veřejné zakázky riziko zcela ponese veřejný zadavatel. Na obrázku je znázorněna funkce spojitého Custom rozdělení rizika výskytu chyb v projektové a pracovní dokumentaci. Při stanovení tohoto typu rozdělení pravděpodobnosti rizika byly použity údaje z tabulky č.1 přílohy k 5. kapitole (veřejná zakázka), které se mění v rozsahu možných nákladů (dopad v mln.rub.) v závislosti na určitém scénáři základu rizika. K dopadům tohoto rizika může dojít v období přípravy stavby i v období její realizace. Toto riziko má latentní charakter, protože jeho výskyt se může objevit i v období provozu, ale jeho vliv na riziko překročení nákladů na provoz je minimální až skoro zanedbatelný, protože výskyt chyb a jejich eliminace se stává na začátku

přípravy a realizaci projektu. Byly použity hodnoty dopadů v závislosti na scénáři a pravděpodobnosti jeho výskytu. Pro scénář beze změny byl použit *step = 1*, což zdiskrétnilo daný typ scénáře v rámci celkového intervalu možného dopadu rizika. Pro ostatní scénáře byl zvolen *step =0*, což dalo možnost vymodelovat spojitý charakter dopadů rizik ostatních scénářů dopadů. Vzájemná přímá závislost faktorů rizika v čase byla reprezentovaná pomocí autokorelace na úrovní (+ 0,5).

Překročení rozpočtových výdajů na provoz dálnice

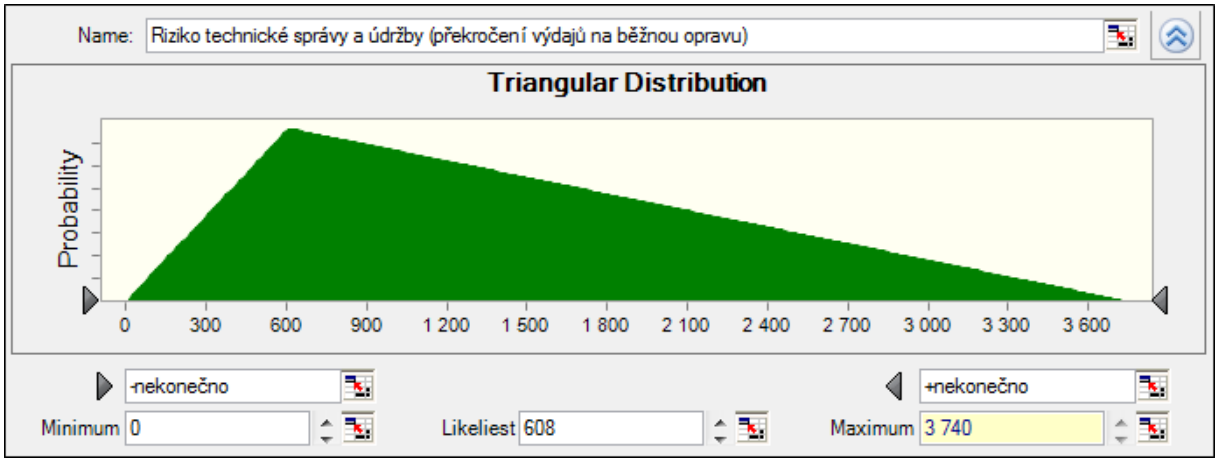


Obrázek 4. Úsek 7. Riziko překročení rozpočtových výdajů na provoz dálnice v případě realizace projektu ve formě veřejné zakázky

Na obrázku je znázorněna funkce BetaPERT rozdělení rizika překročení rozpočtových výdajů na provoz dálnice. Vzhledem k tomu, že toto riziko může vznikat mnohokrát a během delšího období po dobu 30 let provozu, proto je nadefinované Beta PETR rozdělením, které je vhodnější alternativou trojúhelníkového rozdělení. Při stanovení tohoto typu rozdělení pravděpodobnosti rizika byly použity údaje z tabulky č.1 přílohy k 5. kapitole (veřejná zakázka), které se mění v rozsahu možných nákladů (dopad v mln.rub.) v závislosti na určitém scénáři základu rizika, který se mění rok od roku. Byly použity hodnoty dopadů v závislosti na scénáři a pravděpodobnosti jeho výskytu. K dopadům tohoto rizika může dojít během celého období provozu dálnice. Nejpravděpodobnější hodnoty překročení nákladů, podle odhadu ruských expertů, činí kolem 30%, což je poměrné vysoký odhad v porovnání s Českou republikou, kde toto riziko podle odhadu expertů z ŘSD ČR činí kolem 15%. Proto, aby se při modelování tohoto rizika zabránilo jeho nadhodnocení, bylo použito Beta PERT rozdělení, kde jsou hodnoty více koncentrovány kolem nejpravděpodobnější hodnoty. Vzájemná přímá závislost faktorů rizika v čase byla reprezentovaná pomocí autokorelace na úrovni (+ 0,3).

Riziko technické správy a údržby dálnice (překročení výdajů na běžnou opravu)

Funkce rozdělení pravděpodobnosti a její parametry pro dané riziko jsou uvedeny na obrázku níže.

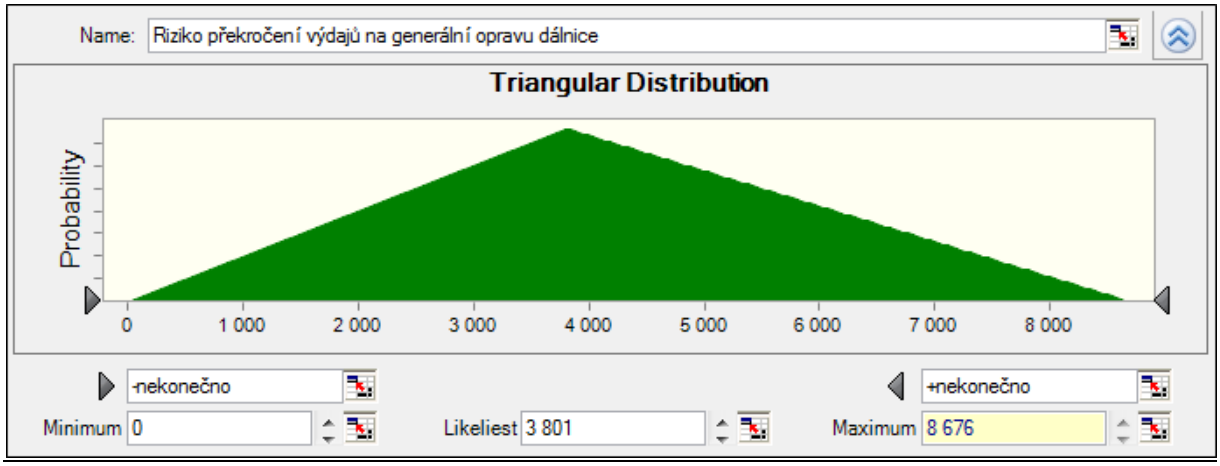


Obrázek 5. Úsek 7. Riziko překročení rozpočtových výdajů na technickou správu a údržbu dálnice v případě realizace projektu ve formě veřejné zakázky

Při realizaci projektu ve formě veřejné zakázky bude pravděpodobnost převýšení skutečných nákladů na technickou správu a údržbu dálnice vyšší než u projektu realizovaného formou PPP. Kromě toho, při provádění technických oprav bude objekt jen v částečném provozu, což povede ke snížení příjmů z výběru mýtného. Z toho hlediska bude základ tohoto rizika při realizaci projektu ve formě veřejné zakázky zahrnovat měsíční provozní výnos na silnici. Na obrázku je znázorněna funkce trojúhelníkového rozdělení pravděpodobnosti rizika překročení rozpočtových výdajů na technickou správu a údržbu dálnice. Jak je vidět z výše uvedeného obrázku, trojúhelník je nesymetrický s převahou nižších hodnot než je nejpravděpodobnější hodnota (zešikmení doleva). Avšak vzhledem k tomu, že výnosy z provozu dálnice se rok od roku zvyšují, budou růst i výdaje na technickou opravu, a tím se bude zvětšovat základ tohoto rizika a v souvislosti s tím i nejpravděpodobnější hodnota bude vyšší (tj. s tendencí k symetrickému rozdělení). Na konci projekčního období bude funkce trojúhelníkového rozdělení pravděpodobností rizika překročení rozpočtových výdajů na technickou správu a údržbu dálnice asymetrická s převahou k vyšším hodnotám. Při stanovení tohoto typu rozdělení pravděpodobnosti rizika byly použity údaje z tabulky č.1 přílohy k 5. kapitole (veřejná zakázka), které se mění v rozsahu možných nákladů (dopad v mln.rub.) v závislosti na určitém scénáři základu rizika, který se mění rok od roku.

Riziko překročení výdajů na generální opravu dálnice

Funkce rozdělení pravděpodobnosti a její parametry pro dané riziko jsou uvedeny na obrázku níže. Stejně jako u rizika překročení nákladů na údržbu zahrnuje základ tohoto rizika při realizaci formou veřejné zakázky neobdržené příjmy z výběru mýtného za období tří měsíců provozu dálnice v roce následujícím po generální opravě objektu.



Obrázek 6. Úsek 7. Riziko překročení rozpočtových výdajů na generální opravu dálnice v případě realizace projektu ve formě veřejné zakázky

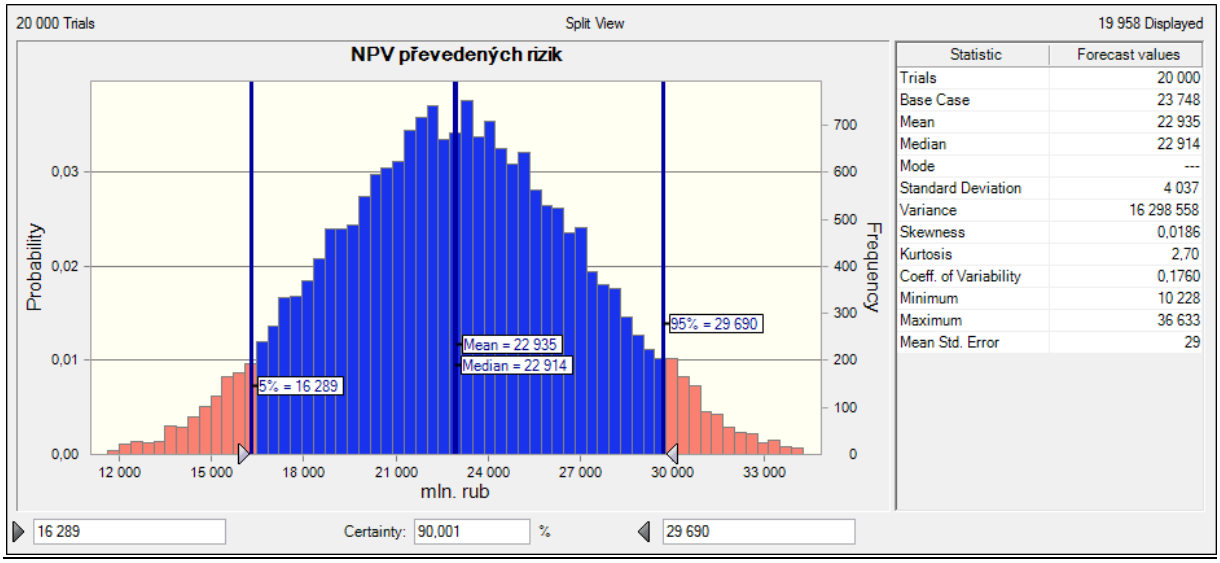
Na obrázku je znázorněna funkce trojúhelníkového rozdělení rizika překročení rozpočtových výdajů na generální opravu dálnice. Jak je vidět z výše uvedeného obrázku, trojúhelník je skoro symetrický s nepatrným zešikmením do leva. Stejně jak u výše uvedeného rizika během životnosti projektu budou nejpravděpodobnější hodnoty směřovat k vyšším hodnotám. Při stanovení tohoto typu rozdělení pravděpodobnosti rizika byly použity údaje z tabulky č.1 přílohy k 5. kapitole (veřejná zakázka), které se mění v rozsahu možných nákladů (dopad v mln.rub.) v závislosti na určitém scénáři základu rizika, který se mění rok od roku.

Průběh simulace

Pomocí add-in programu Crystal Ball byla provedena simulace, kde každý krok charakterizovaný vygenerovanými diskrétními hodnotami faktorů rizika a vypočtenou hodnotou výstupní veličiny, představuje jeden scénář možného dopadu rizik projektu. Každý scénář tak představuje jednu deterministickou závislost mezi vstupními a výstupní veličinou. Program postupně generuje hodnoty rizikových faktorů z jejich rozdělení pravděpodobnosti, respektuje zadanou statistickou závislost a propočítává v každém kroku hodnotu výstupní veličiny. Výstupní veličina je charakterizována svým rozdělením pravděpodobnosti a statistickými charakteristikami. Výsledky dosažené simulačním procesem se diskontují pomocí veřejné diskontní sazby. Tak získáme ukazatel NPV převoditelných rizik pomocí simulace Monte Carlo. Počet simulačních kroků byl zvolen 20 000.

Výsledky simulace 1. varianty

Níže uvedená hustota pravděpodobnosti NPV převoditelných rizik v případě, že by byl tento projekt realizován formou veřejné zakázky.



Obrázek 7. Úsek 7. Hustota pravděpodobnosti NPV převoditelných rizik realizovaných formou veřejné zakázky

Výsledky realizace simulace metodou Monte Carlo pro1.variantu určily základní statistické charakteristiky rozdělení pravděpodobnosti veličiny NPV převoditelných rizik, a to:

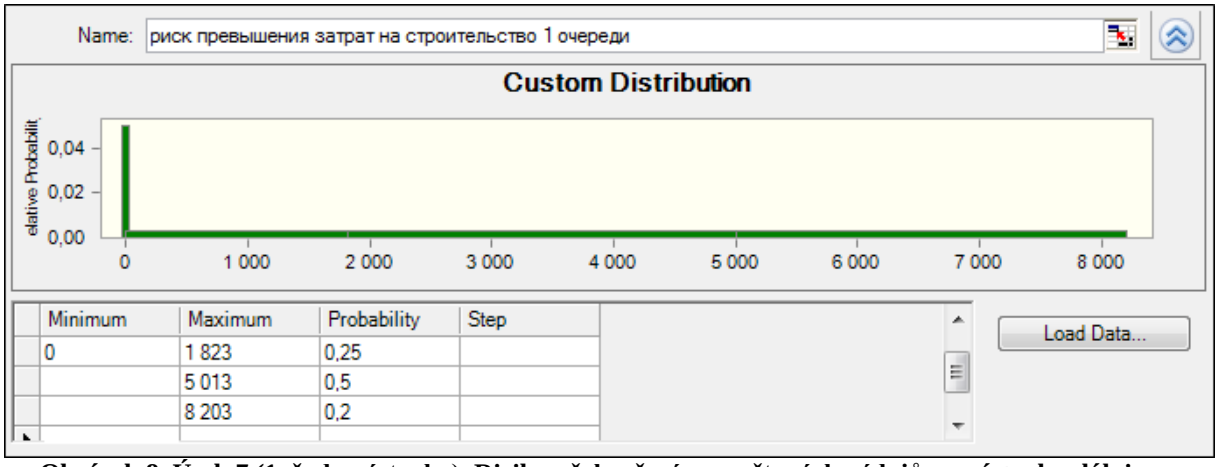
- Mediána se rovná 22 914 mln.rublů
- Střední očekávána hodnota se rovná 22 935 mln.rublů
- Minimální hodnota se rovná 10 228 mln.rublů
- Maximální hodnota převoditelných rizik se může dostat do výše 36 633 mln.rublů

Varianta 2

Rizika koncesionáře

Překročení/snížení rozpočtových výdajů na stavbu trasy

Funkce rozdělení pravděpodobnosti a její parametry pro dané riziko jsou uvedeny na obrázku níže.

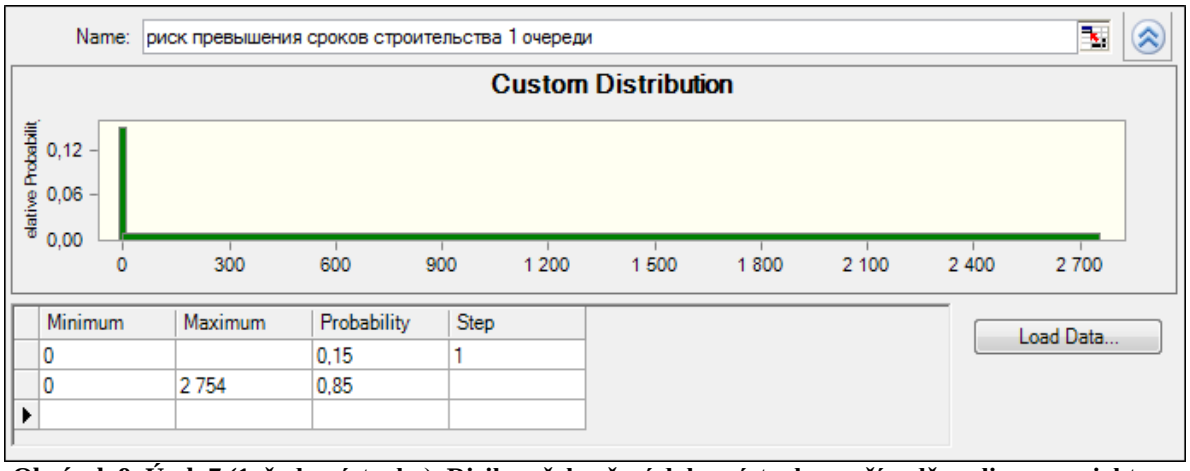


Obrázek 8. Úsek 7 (1. řada výstavby). Riziko překročení rozpočtových výdajů na výstavbu dálnice v případě realizace projektu veřejnou zakázkou

Na obrázku je představena funkce spojitého Custom rozdělení rizika změny nákladů na výstavbu dálnice. Při stanovení tohoto typu rozdělení pravděpodobnosti rizika byly použity údaje z tabulky č. 1 přílohy k 5. kapitole (veřejná zakázka). Tvar rozdělení se mění v rozsahu možných nákladů (dopad v mln.rub.) v závislosti na scénáři základu rizika, který se mění rok od roku. K dopadům tohoto rizika může dojít v období výstavby silnice. Použity byly hodnoty dopadů v závislosti na scénáři a pravděpodobnosti jeho výskytu. Pro scénář beze změny byl použit *step = 1*, což zdiskrétnilo daný typ scénáře v rámci celkového intervalu možného dopadu rizika. Pro ostatní scénáře byl zvolen *step =0*, což dalo možnost vymodelovat spojitý charakter dopadů rizik ostatních scénářů dopadů. Vzájemná přímá závislost faktorů rizika v čase byla reprezentovaná stejně jako u 1. varianty pomocí autokorelace na úrovni (+ 0,6). Vznik daného rizika má přímou závislost s rizikem chyb v projektové a pracovní dokumentaci odpovídajícího roku. Koeficient korelace byl stanoven na úrovni (+0,7) .

Překročení doby výstavby

Funkce rozdělení pravděpodobnosti a její parametry pro dané riziko jsou uvedeny na obrázku níže.

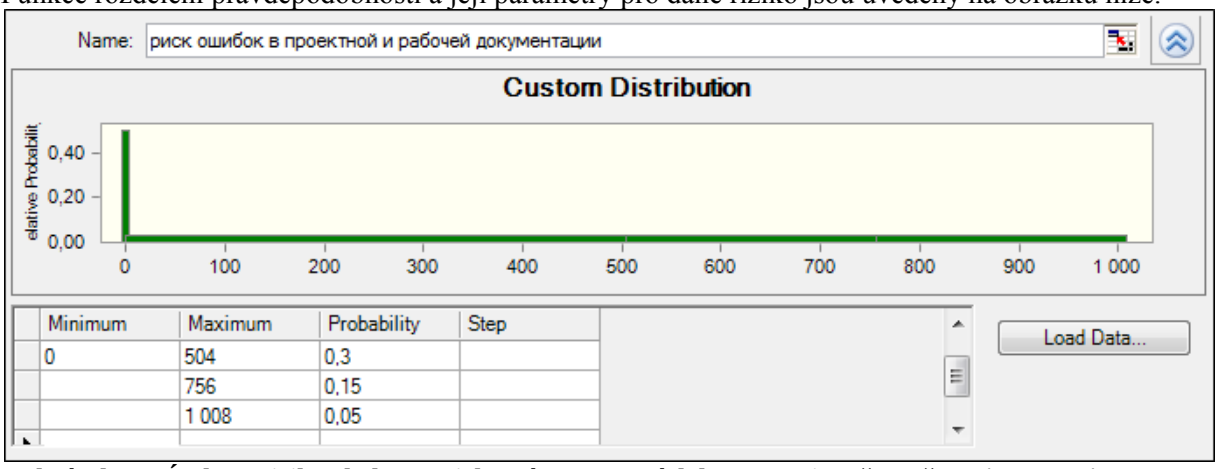


Obrázek 9. Úsek 7 (1. řada výstavby). Riziko překročení doby výstavby v případě realizace projektu ve formě veřejné zakázky

Na obrázku je znázorněna funkce spojitého Custom rozdělení rizika překročení doby výstavby dálnice. Při stanovení tohoto typu rozdělení pravděpodobnosti rizika byly použity údaje z tabulky č.1 přílohy k 5. kapitole (veřejná zakázka). Rozdělení se mění v rozsahu možných nákladů (dopad v mln.rub.) v závislosti na určitém scénáři základu rizika, který se mění rok od roku. K dopadům tohoto rizika může dojít v období zprovoznění silnice. Použity byly hodnoty dopadů v závislosti na scénáři a pravděpodobnosti jeho výskytu. Scénáře dopadů daného rizika byly stanoveny dle Bernoulliho rozdělení pravděpodobností (Ano/Ne rozdělení) s určením pravděpodobnosti jejich výskytů.

Chyby v projektové a pracovní dokumentaci

Funkce rozdělení pravděpodobnosti a její parametry pro dané riziko jsou uvedeny na obrázku níže.



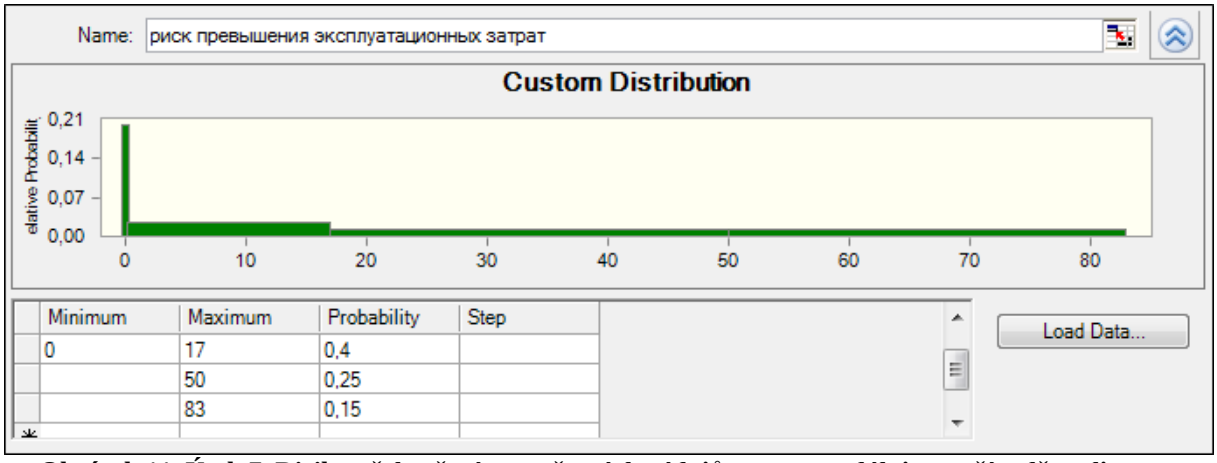
Obrázek 10. Úsek 7. Riziko chyb v projektové a pracovní dokumentaci v případě realizace projektu ve formě veřejné zakázky

V případě realizace daného úseku ve formě veřejné zakázky ponese toto riziko zcela veřejný zadavatel. Na obrázku je znázorněna funkce spojitého Custom rozdělení rizika výskytu chyb v projektové a pracovní dokumentaci. Při stanovení tohoto typu rozdělení pravděpodobnosti rizika

byly použity údaje z tabulky č.1 přílohy k 5. kapitole (veřejná zakázka), které se mění v rozsahu možných nákladů (dopad v mln.rub.) v závislosti na určitém scénáři základu rizika. K dopadům tohoto rizika může dojít v období přípravy stavby i v období její realizace. Použity byly hodnoty dopadů v závislosti na scénáři a pravděpodobnosti jeho výskytu. Pro scénář beze změny byl použit *step = 1*, což zdiskrétnilo daný typ scénáře v rámci celkového intervalu možného dopadu rizika. Pro ostatní scénáře byl zvolen *step =0,* což dalo možnost vymodelovat spojitý charakter dopadů rizik ostatních scénářů dopadů. Vzájemná přímá závislost faktorů rizika v čase byla reprezentovaná pomocí autokorelace na úrovni (+ 0,5).

Překročení rozpočtových výdajů na provoz dálnice

Funkce rozdělení pravděpodobnosti a její parametry pro dané riziko jsou uvedeny na obrázku níže.

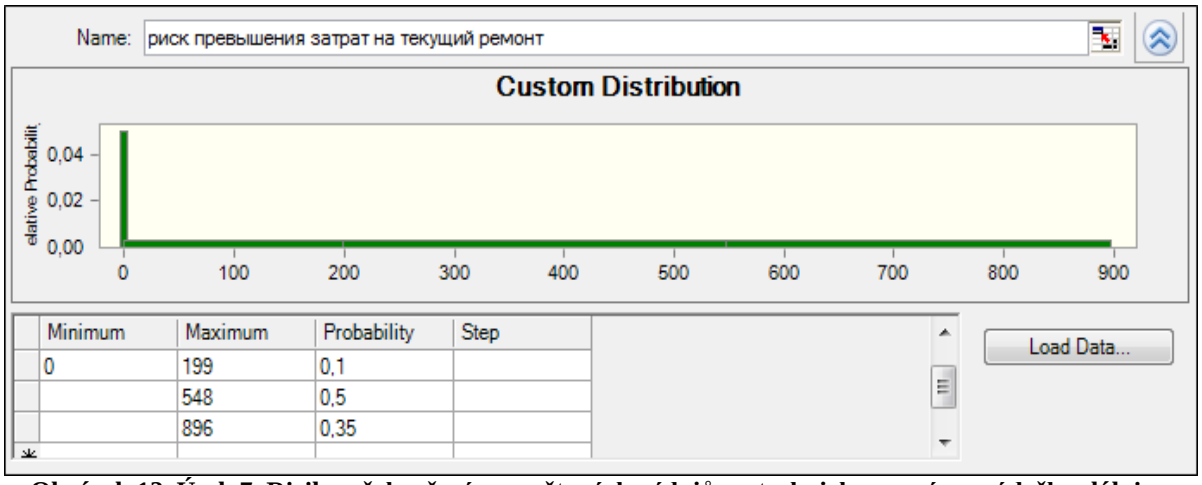


Obrázek 11. Úsek 7. Riziko překročení rozpočtových výdajů na provoz dálnice v případě realizace projektu ve formě veřejné zakázky

Na obrázku je znázorněna funkce spojitého Custom rozdělení rizika překročení rozpočtových výdajů na provoz dálnice. Při stanovení tohoto typu rozdělení pravděpodobnosti rizika byly použity údaje z tabulky č.1 přílohy k 5. kapitole (veřejná zakázka), které se mění v rozsahu možných nákladů (dopad v mln.rub.) v závislosti na určitém scénáři základu rizika, který se mění rok od roku. K dopadům tohoto rizika může dojít během celkového období provozu dálnice. Použity byly hodnoty dopadů v závislosti na scénáři a pravděpodobnosti jeho výskytu. Pro scénář beze změny byl použit *step = 1*, což zdiskrétnilo daný typ scénáře v rámci celkového intervalu možného dopadu rizika. Pro ostatní scénáře byl zvolen *step =0,* což dalo možnost vymodelovat spojitý charakter dopadů rizik ostatních scénářů dopadů. Vzájemná přímá závislost faktorů rizika v čase byla reprezentovaná pomocí autokorelace na úrovni (+ 0,3).

Riziko technické správy a údržby dálnice (překročení výdajů na běžnou opravu)

Funkce rozdělení pravděpodobnosti a její parametry pro dané riziko jsou uvedeny na obrázku níže.

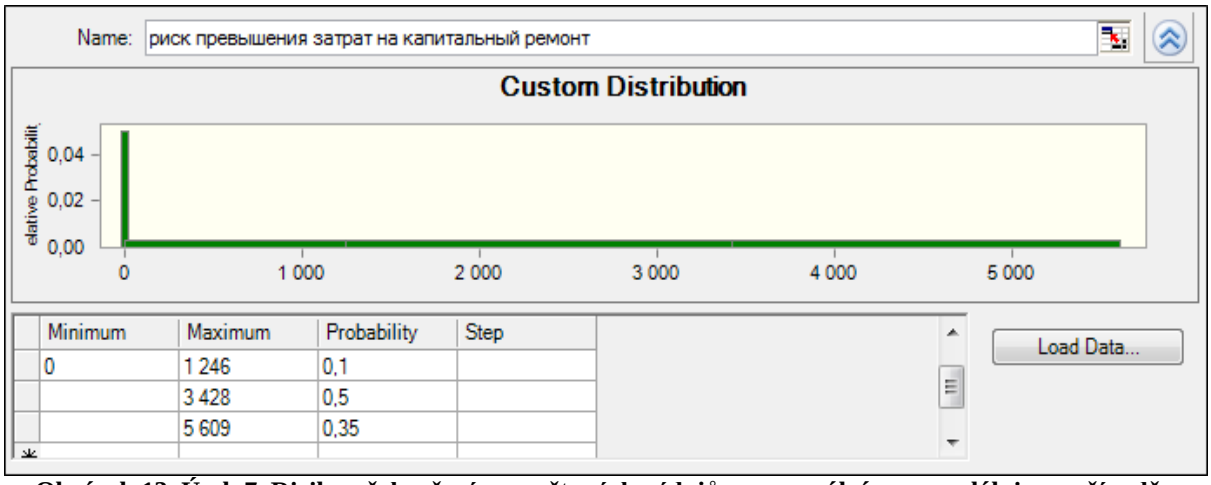


Obrázek 12. Úsek 7. Riziko překročení rozpočtových výdajů na technickou správu a údržbu dálnice v případě realizace projektu ve formě veřejné zakázky

Podle světové statistiky a expertního hodnocení bude při realizaci projektu ve formě veřejné zakázky pravděpodobnost převýšení skutečných nákladů na technickou správu a údržbu dálnice vyšší než u projektu realizovaného formou PPP. Kromě toho, při provádění technických oprav bude objekt jen v částečném provozu, což povede ke snížení příjmů z výběru mýtného. Z toho hlediska bude základ tohoto rizika při realizaci projektu ve formě veřejné zakázky zahrnovat měsíční provozní výnos na silnici. Na obrázku je znázorněna funkce spojitého Custom rozdělení rizika překročení rozpočtových výdajů na technickou správu a údržbu dálnice. Při stanovení tohoto typu rozdělení pravděpodobnosti rizika byly použity údaje z tabulky č.1 přílohy k 5. kapitole (veřejná zakázka), které se mění v rozsahu možných nákladů (dopad v mln.rub.) v závislosti na určitém scénáři základu rizika, který se mění rok od roku. K dopadům tohoto rizika může dojít během celého období provozu dálnice. Byly použity hodnoty dopadů v závislosti na scénáři a pravděpodobnosti jeho výskytu. Pro scénář beze změny byl použit *step = 1*, což zdiskrétnilo daný typ scénáře v rámci celkového intervalu možného dopadu rizika. Pro ostatní scénáře byl zvolen *step =0*, což dalo možnost vymodelovat spojitý charakter dopadů rizik ostatních scénářů dopadů.

Riziko překročení výdajů na generální opravu dálnice

Funkce rozdělení pravděpodobnosti a její parametry pro dané riziko jsou uvedeny na obrázku níže.



Obrázek 13. Úsek 7. Riziko překročení rozpočtových výdajů na generální opravu dálnice v případě realizace projektu ve formě veřejné zakázky

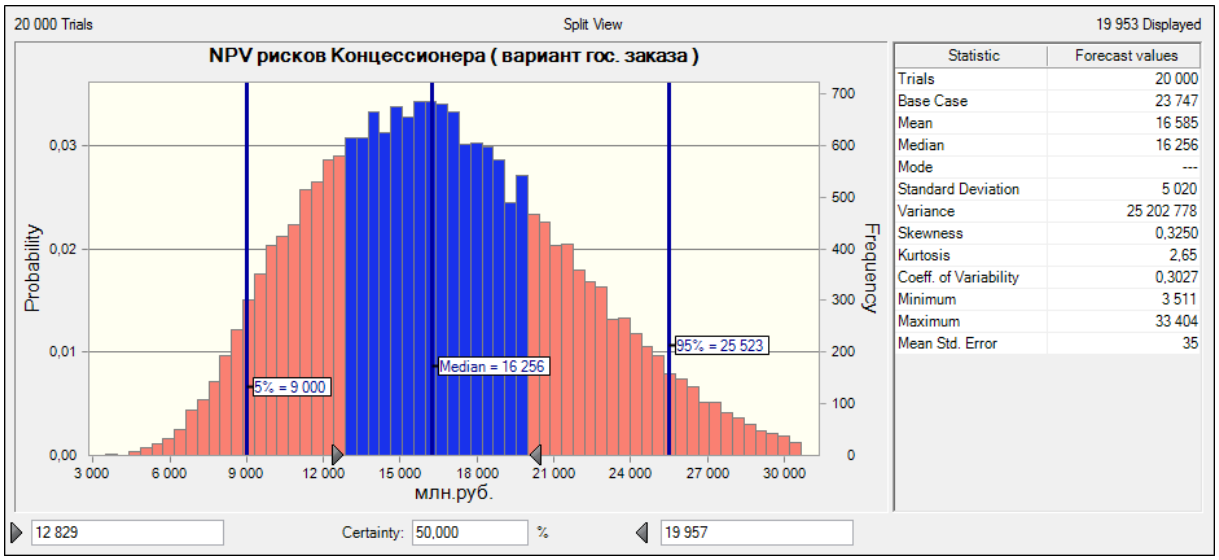
Stejně jako u rizika překročení nákladů na údržbu, zahrnuje základ tohoto rizika při realizaci formou veřejné zakázky neobdržené příjmy z výběru mýtného za období tří měsíců provozu dálnice v roce následujícím po generální opravě objektu. Na obrázku je znázorněna funkce spojitého Custom rozdělení rizika překročení rozpočtových výdajů na generální opravu dálnice. Při stanovení tohoto typu rozdělení pravděpodobnosti rizika byly použity údaje z tabulky č.1 přílohy k 5. kapitole (veřejná zakázka), které se mění v rozsahu možných nákladů (dopad v mln.rub.) v závislosti na určitém scénáři základu rizika, který se mění rok od roku. K dopadům tohoto rizika může dojít během celkového období provozu dálnice v letech souvisejících s plánovanou opravou. Byly použity hodnoty dopadů v závislosti na scénáři a pravděpodobnosti jeho výskytu. Pro scénář beze změny byl použit *step = 1*, což zdiskrétnilo daný typ scénáře v rámci celkového intervalu možného dopadu rizika. Pro ostatní scénáře byl zvolen *step =0,* což dalo možnost vymodelovat spojitý charakter dopadů rizik ostatních scénářů dopadů.

Průběh simulace

Pomocí add-in programu Crystal Ball byla provedena simulace, kde každý krok charakterizovaný vygenerovanými diskrétními hodnotami faktorů rizika a vypočtenou hodnotou výstupní veličiny představuje jeden scénář možného dopadu rizik projektu. Každý scénář tak představuje jednu deterministickou závislost mezi vstupními a výstupní veličinou. Program postupně generuje hodnoty rizikových faktorů z jejich rozdělení pravděpodobnosti, respektuje zadanou statistickou závislost a propočítává v každém kroku hodnotu výstupní veličiny. Výstupní veličina je charakterizována svým rozdělením pravděpodobnosti a statistickými charakteristikami. Výsledky dosažené simulačním procesem se diskontují pomocí veřejné diskontní sazby. Tak získáme ukazatel NPV převoditelných rizik pomoci simulace Monte Carlo. Počet simulačních kroků byl zvolen 20 000.

Výsledky simulace 2. varianta

Níže uvedena hustota pravděpodobnosti NPV převoditelných rizik v případě, že by byl tento projekt realizován formou veřejné zakázky.



Obrázek 14. Úsek 7. Hustota pravděpodobnosti NPV převoditelných rizik realizovaných formou veřejné zakázky

Výsledky realizace simulace metodou Monte Carlo pro 2. variantu určily základní statistické charakteristiky rozdělení pravděpodobnosti veličiny NPV převoditelných rizik, a to:

- Mediána se rovná 16 256 mln.rublů
- Střední očekávaná hodnota se rovná 23 747 mln.rublů
- Minimální hodnota se rovná 3 511 mln.rublů
- Maximální hodnota převoditelných rizik se může dostat do výše 33 404 mln.rublů

Uplatnění výsledků simulace pro porovnání způsobů realizace projektu podle ukazatele VfM

Jak ukázaly výsledky simulace realizované metodou Monte Carlo, je rozdělení NPV převoditelných rizik charakterizováno v 1. variantě odklonem směrem k vyšším hodnotám a ve 2. variantě odklonem směrem k nižším hodnotám. Pro uplatnění výsledku v analýze ukazatele VfM byly použity hodnoty medián, nikoli středních očekávaných hodnot. Rozhodnutí, zda realizovat projekt formou PPP nebo veřejnou zakázkou, je založeno na konceptu hodnoty za peníze (VfM), ve kterém se porovnání obou variant projektu posuzuje z hlediska minimalizace nákladů během životního cyklu projektu a zvýšení efektivity jeho realizace. Rozdíl ukazatelů rozpočtové efektivity obou

variant realizace umožňuje stanovit efektivitu vynaložených prostředků s přehlédnutím k rizikům projektu (VfM).

Níže uvedené tabulky ukazují výpočet ukazatelů rozpočtové efektivity projektu s ohledem na jeho rizika (viz kapitola 3) pro 1. a 2. variantu.

Tabulka1.Varianta 1. Porovnání přímé rozpočtové efektivity s přihlédnutím k rizikům projektu v rámci konceptu ukazatele VfM

	Veřejná zakázka	**PPP**
NPV rozpočtové efektivity, mln.rub..	267 005	256 900
NPV převoditelných rizik, mln.rub.	- 22 914	-
NPV rozpočtové efektivity s započtením převoditelných rizik, mln.rub.	244 091	256 900
VfM, mln.rub.	**12 809**	

Tabulka 2.Varianta 2. Porovnání přímé rozpočtové efektivity s přihlédnutím k rizikům projektu v rámci konceptu ukazatele VfM

	Veřejná zakázka	**PPP**
NPV rozpočtové efektivity, mln.rub..	267 005	256 900
NPV převoditelných rizik, mln.rub.	- 16 256	-
NPV rozpočtové efektivity s započtením převoditelných rizik, mln.rub.	250 749	256 900
VfM, mln.rub.	**6 151**	

Výsledky získané použitím metody Monte Carlo jsou uvedeny v závěrečné 6. kapitole disertační práce, kde je provedeno porovnání obou variant společně s výsledky dosaženými použitím Fuzzy Inferenčního Systému.

Příloha ke kapitole 6 č. 2

Realizace modelování a hodnocení převoditelných rizik projektu neurčitým způsobem metodou Fuzzy Inferenčního Systému.

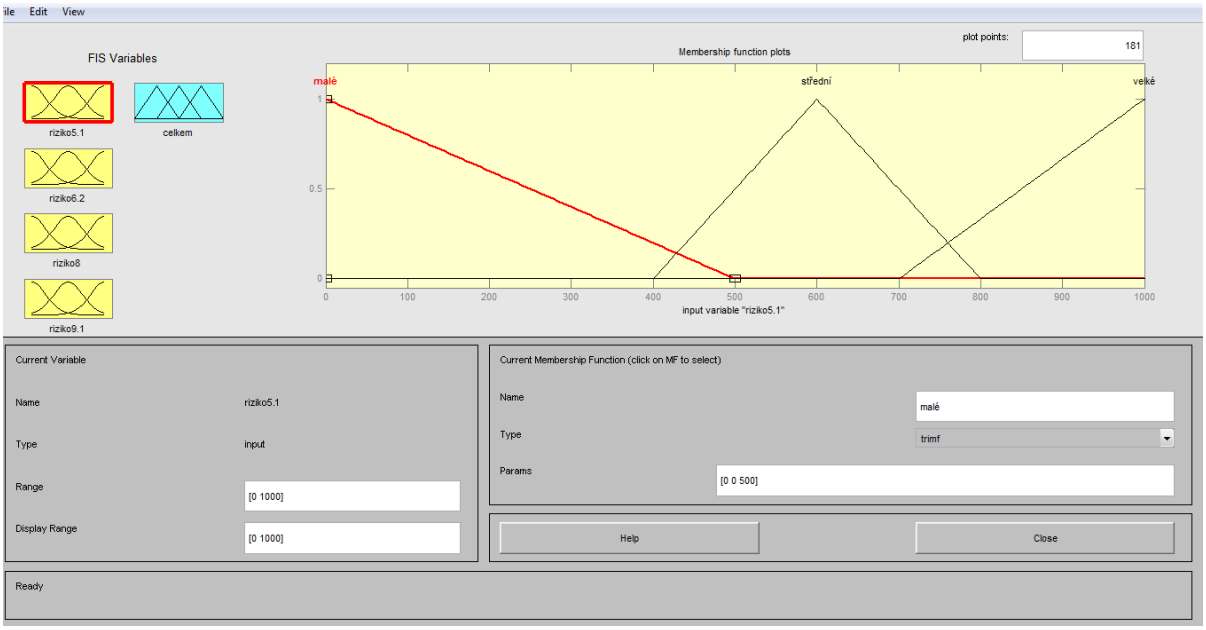
Stejně tak jako při užití pokročilé metody hodnocení rizik intervalově-pravděpodobnostním způsobem metodou Monte Carlo, byly vstupní údaje pro neurčitý způsob modelování nejistoty pomocí fuzzy inferenčního systému typu Mamdani vzaty z expertní analýzy identifikace a odhadu intervalů dopadů klíčových rizikových faktorů zkoumaného projektu CKAD. Níže uvedená analýza modelování a hodnocení nejistoty neurčitým přístupem metodou Fuzzy Inferenčního Systému byla provedena pro „rizika koncesionáře". Pro praktické uplatnění neurčitého způsobu metodou Fuzzy Inferenčního Systému typu Mamdani byl zvolen 7. úsek projektované dálnice CKAD. Jak již bylo výše uvedeno v kap. 6.3 porovnávaly se dvě varianty. Pro neurčitý přístup v 1. variantě byly vstupní rizikové proměnné představeny formou **trojúhelníkových funkcí příslušnosti** a ve 2. variantě byly vstupní parametry rizikových proměnných představeny **funkcí příslušnosti ve formě Gaussovy křivky.** Řešení příkladu bylo provedeno v prostředí programu Matlab využívajícího podpory toolboxu Fuzzy Logic. Pro grafické znázornění Fuzzy Inferenčního Systemu typu Mamdani byla zvolena rizika vyskytující se v roce 2020. Proces hodnocení rizik projektu neurčitým způsobem se skládá ze tří fází:

1. Modelování metodou Fuzzy Inferenčního Systému, která se skládá z fuzzifikace, fuzzy inference a defuzzifikace.
2. Provedení operací potřebných k počítání s výstupními fuzzy množinami každého roku pomocí vytvářených speciálních funkcí ve formátu m-souboru.
3. Hodnocení výsledků výstupní fuzzy množiny NPV převoditelných rizik metodou defuzzifikace

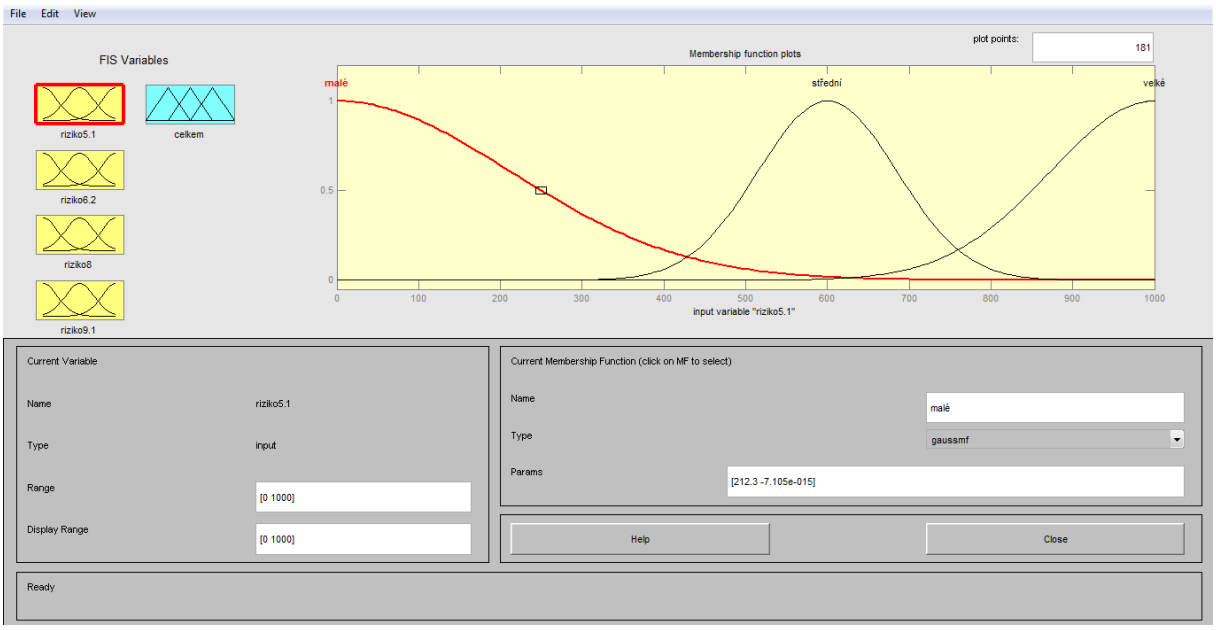
První fáze **–** *krok1 - fuzzifikace vstupních proměnných*

Fuzzifikace údajů mění vektor vstupních údajů na vektor neurčitých množin s přiřazením takových proměnných, které jsou potřebné pro fuzzy aproximaci. Pro jazykové proměnné byly pomocí funkce příslušnosti zvolené následující charakteristiky: malé, střední a velké, a to jak pro vstupní, tak i pro výstupní hodnoty. Jinými slovy, funkce příslušnosti představují přiřazení takových hodnot jazykovým proměnným, které se vztahují k neurčitým množinám. V 1.variantě byly pro všechny parametry zvoleny trojúhelníkové funkce příslušnosti a ve 2. variantě byly všechny parametry rizikových poměných představené funkcí příslušnosti ve formě Gaussovy křivky. Ve všech funkcích příslušnosti byla neurčitost parametrů intervalů hodnot vymodelována tak, aby se hranice odhadovaných intervalů

vzájemně překrývaly. Parametry hodnot intervalů možných dopadů byly vzaty z expertního odhadu (viz příloha k 5. kapitole tabulka č.1) a byly jim přiřazeny lingvistické popisy (malé, střední, velké), vycházející z obdobného názvu scénáře (malé navýšení nákladů, střední navýšení nákladů, velké navýšení nákladů). Příklad definování charakteristik vstupních proměnných pro riziko 5.1 - „Chyby v projektové a pracovní dokumentaci“ pomocí trojúhelníkových funkcí příslušnosti ukazují obrázky č. 1,3,5 a pro funkci příslušnosti ve tvaru Gaussovy křivky obrázky 2,4,6.



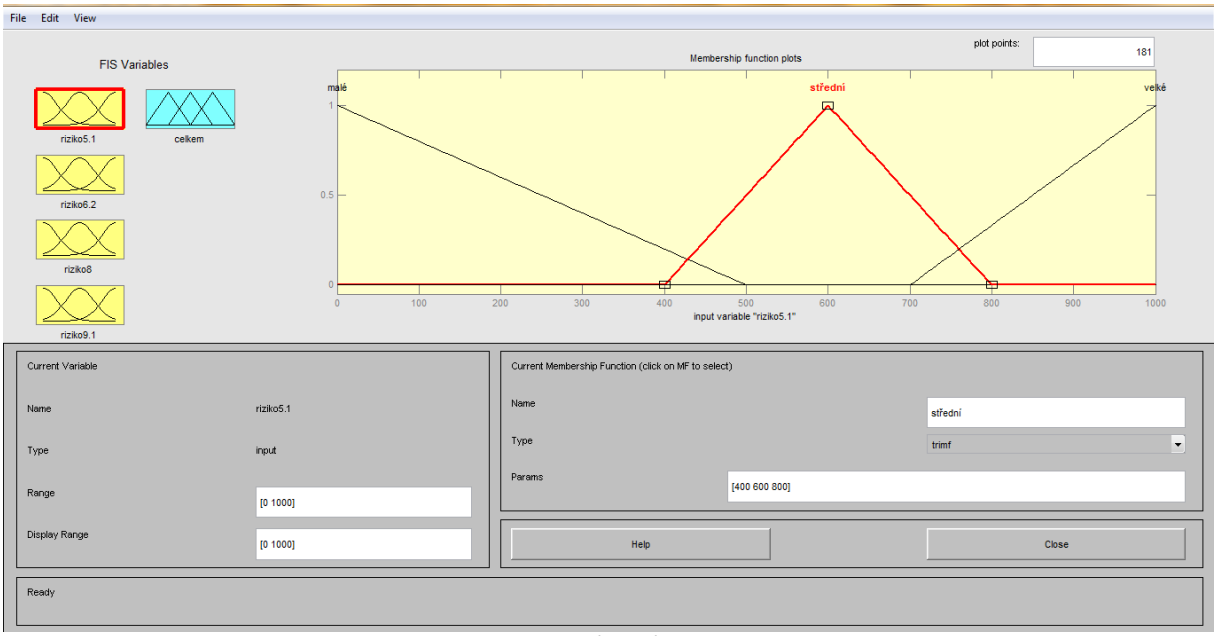
Obrázek 1. Varianta 1. Malé navýšení nákladů v důsledku vzniku rizika „Chyby v projektové a pracovní dokumentaci“



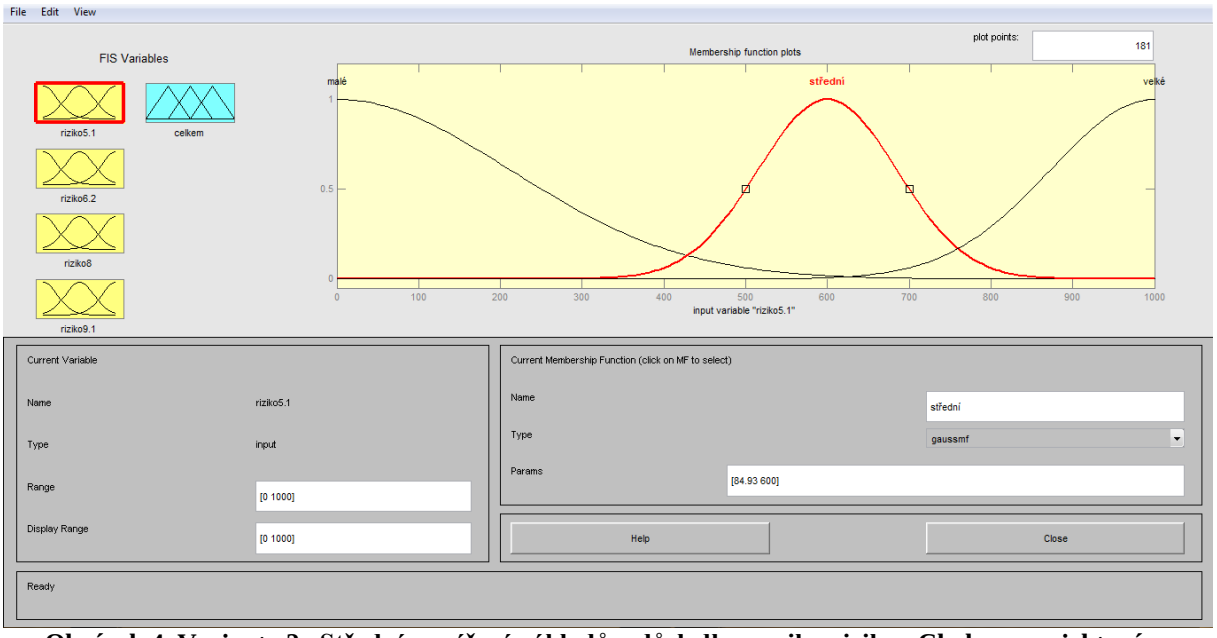
Obrázek 2. Varianta 2. Malé navýšení nákladů v důsledku vzniku rizika „Chyby v projektové a pracovní dokumentaci“

Jak ukazují výše uvedené obrázky, byl dopad „malého“ rizika zmodelován v intervalu od 0 do 500 (mln.rub.) pro obě porovnávané varianty. Celkový kontext (universum) možného dopadu daného rizika 5.1 je od 0 do 1000 (mln.rub).

Pro charakteristiku „středního“ dopadu daného rizika, viz obrázky níže, byl zvolen interval od 400 do 800 (mln.rub.) pro obě porovnávané varianty. Celkový kontext (universum) možného dopadu daného rizika 5.1 je od 0 do 1000 (mln.rub).

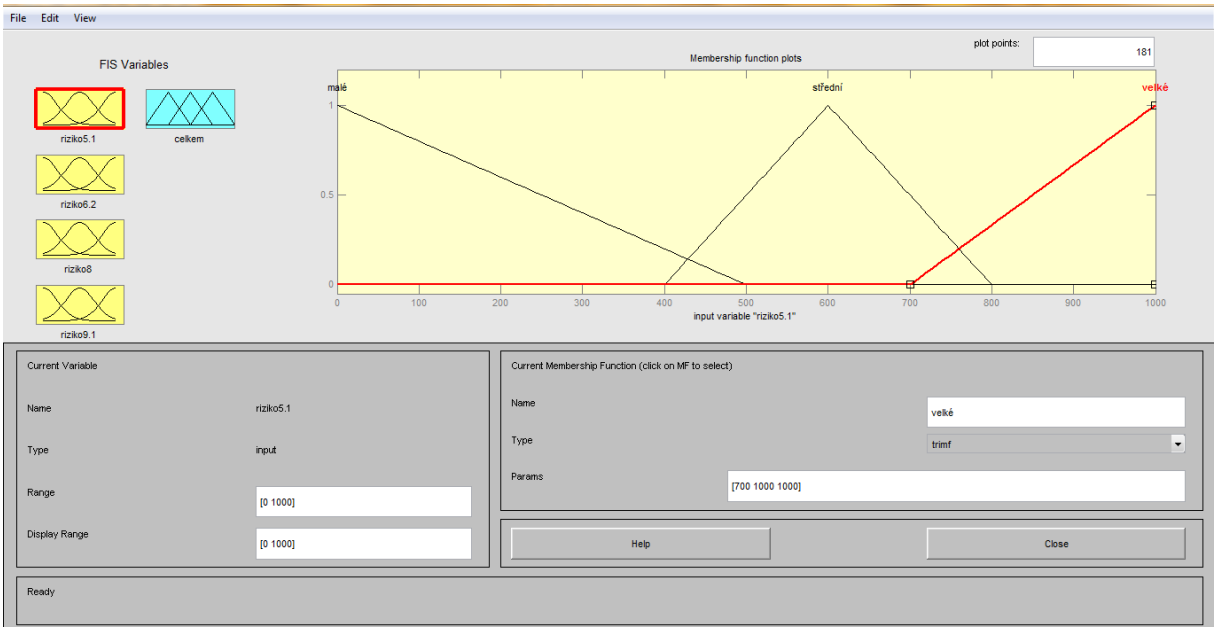


Obrázek 3. Varianta 1. Střední navýšení nákladů v důsledku vzniku rizika „Chyby v projektové a pracovní dokumentaci“

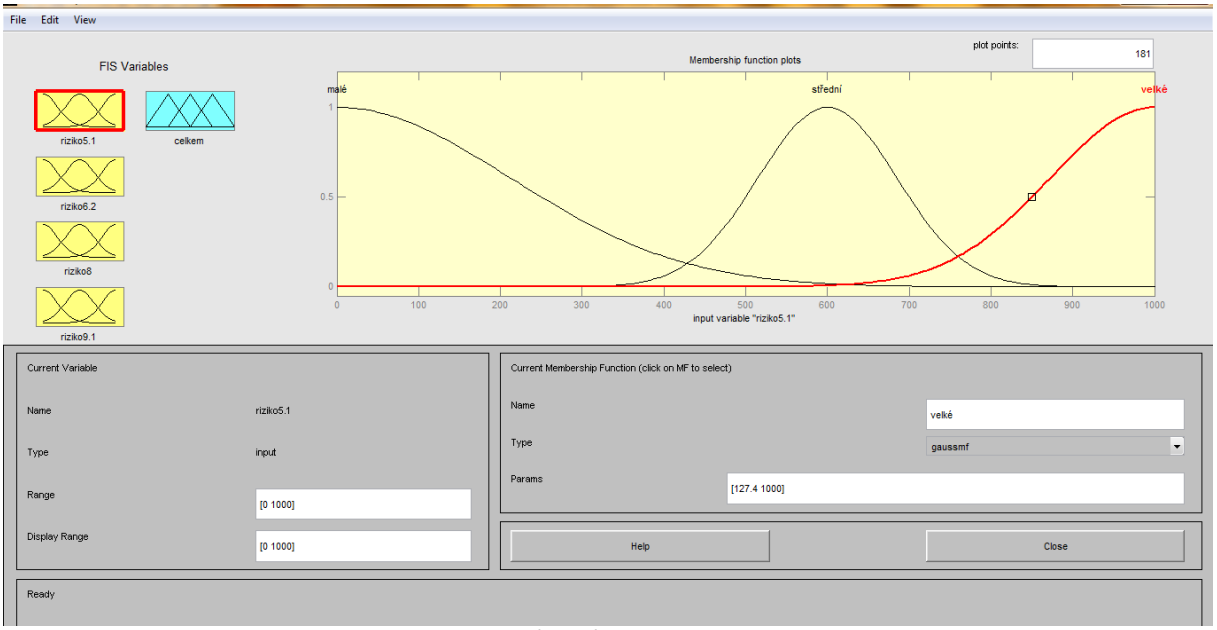


Obrázek 4. Varianta 2. Střední navýšení nákladů v důsledku vzniku rizika „Chyby v projektové a pracovní dokumentaci“

Pro charakteristiku „velkého“ dopadu daného rizika, viz obrázky níže, byl zvolen interval od 700 do 1000 (mln.rub.) pro obě porovnávané varianty. Celkový kontext (universum) možného dopadu daného rizika 5.1 je od 0 do 1000 (mln.rub).



Obrázek 5. Varianta 1. Velké navýšení nákladů v důsledku vzniku rizika „Chyby v projektové a pracovní dokumentaci“

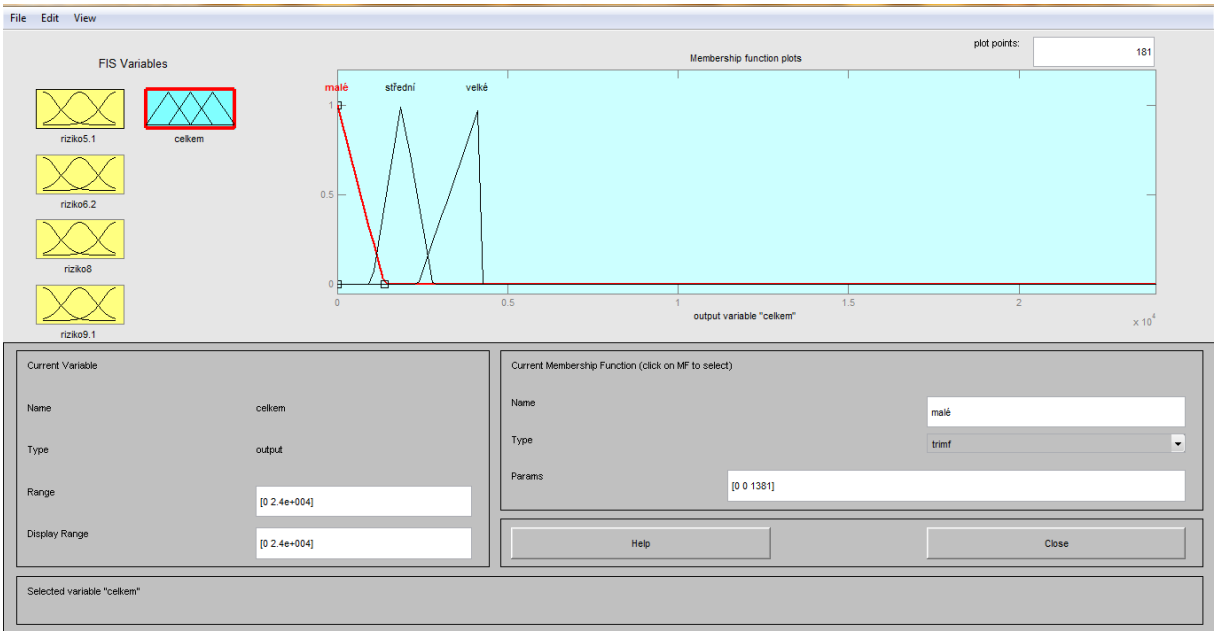


Obrázek 6. Varianta 2. Velké navýšení nákladů v důsledku vzniku rizika „Chyby v projektové a pracovní dokumentaci“

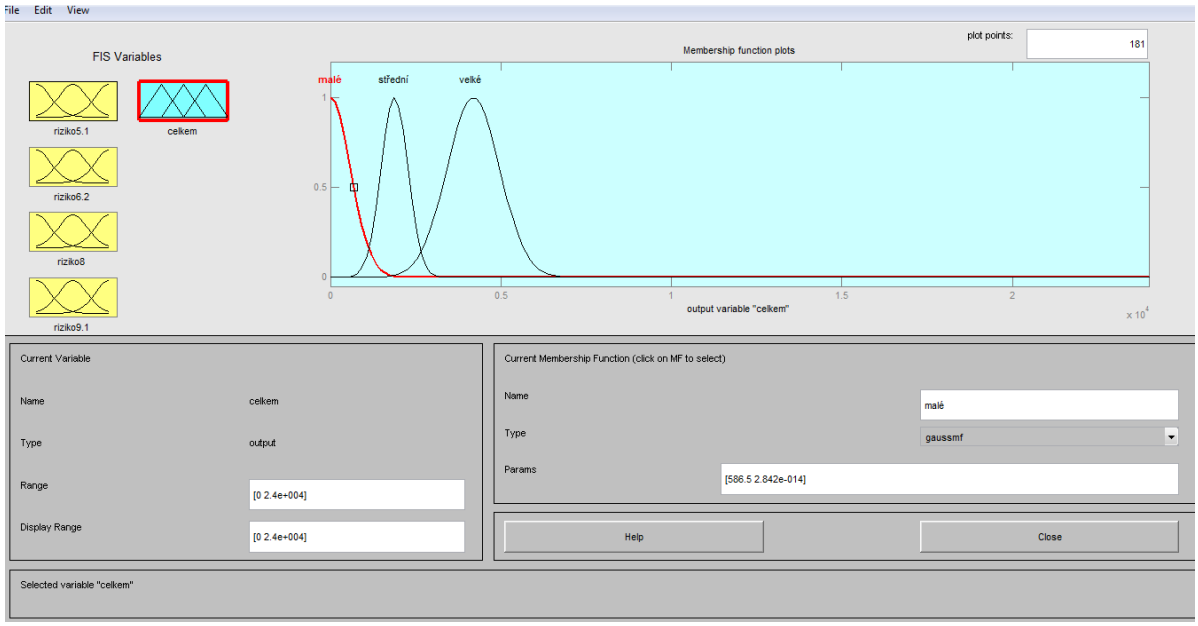
Takovým způsobem navolíme ostatní risk-proměnné pro obě porovnávané varianty, které mohou vzniknout během roku 2020, a to jsou rizika:

- 6.2 – „Překročení rozpočtových výdajů na stavbu trasy“ (2. řada výstavby);
- 8 – „Překročení rozpočtových výdajů na provoz trasy“;
- 9.1 – „Riziko technické správy a údržby dálnice“ (překročení výdajů na běžnou opravu).

Po formalizaci vstupních proměnných se provádí fuzzifikace výstupní proměnné a to stejným způsobem, tj. převádí se číselné hodnoty intervalů dopadů celkového rizika na jazykové proměnné: malé, střední a velké. Jak ukazují níže uvedené obrázky, byl dopad „malého“ celkového rizika pro obě varianty vymodelován v intervalu od 0 do 1 381 (mln.rub). Celkový kontext (universum) možného dopadu celkových rizik je od 0 do [2.4e+004] = 24 000 (mln.rub).

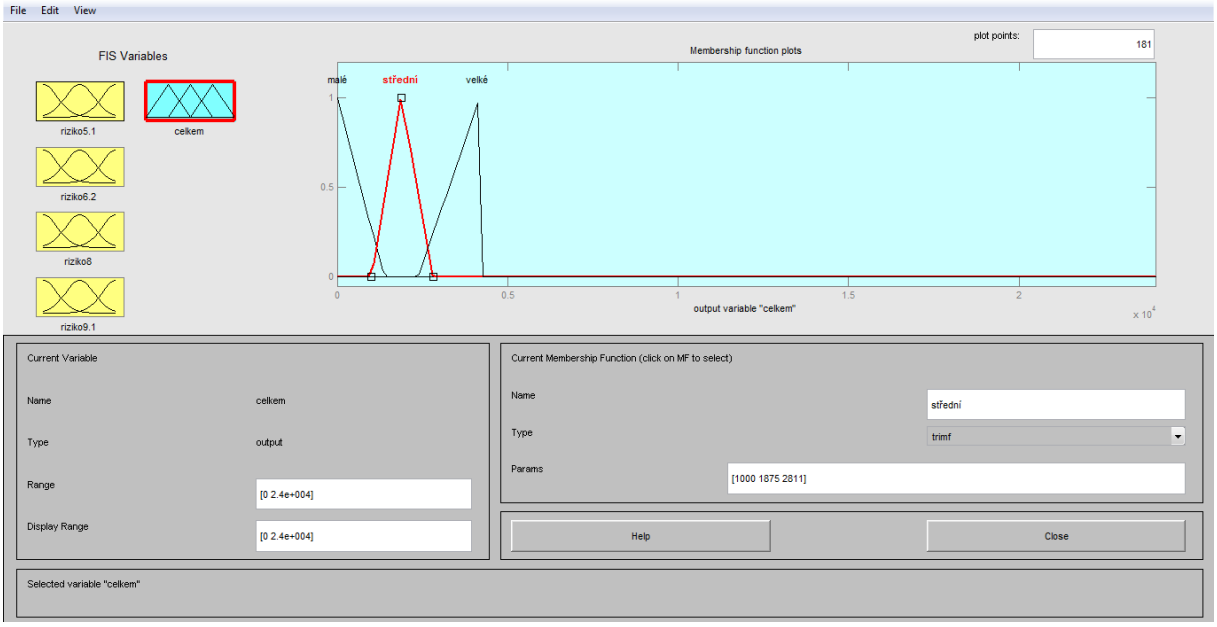


Obrázek 7. Varianta 1. Malé navýšení nákladů v důsledku souhrnného dopadu rizik v roce 2020 (celkem)

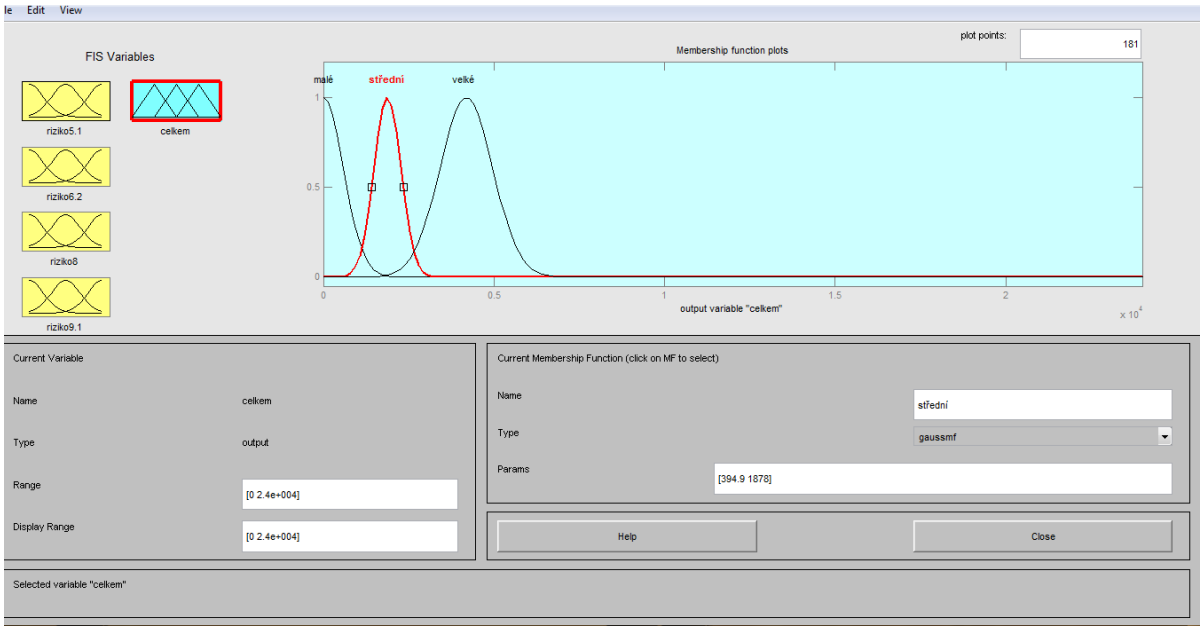


Obrázek 8. Varianta 2. Malé navýšení nákladů v důsledku souhrnného dopadu rizik v roce 2020 (celkem)

Pro charakteristiku „středního“ dopadu celkového rizika viz obrázky níže, byl zvolen interval od 1 000 do 2 811 (mln.rub.) pro dvě varianty. Celkový kontext (universum) možného dopadu celkových rizik je od 0 do 2.4e+004 (mln.rub).

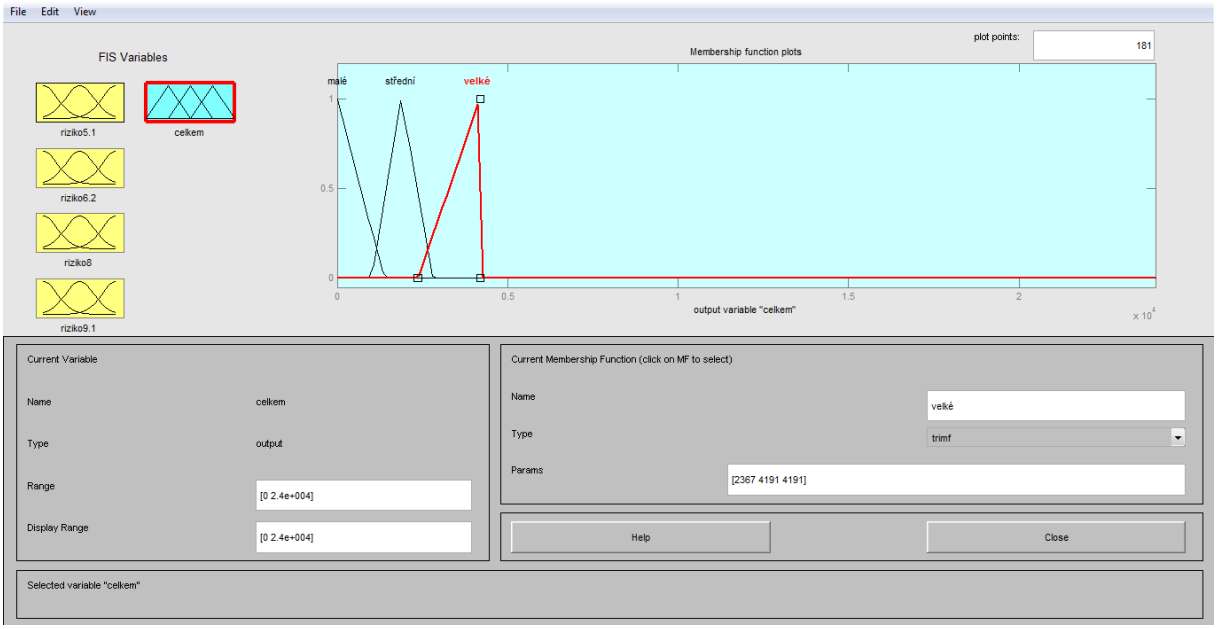


Obrázek 9. Varianta 1. Střední navýšení nákladů v důsledku souhrnného dopadu rizik v roce 2020 (celkem)

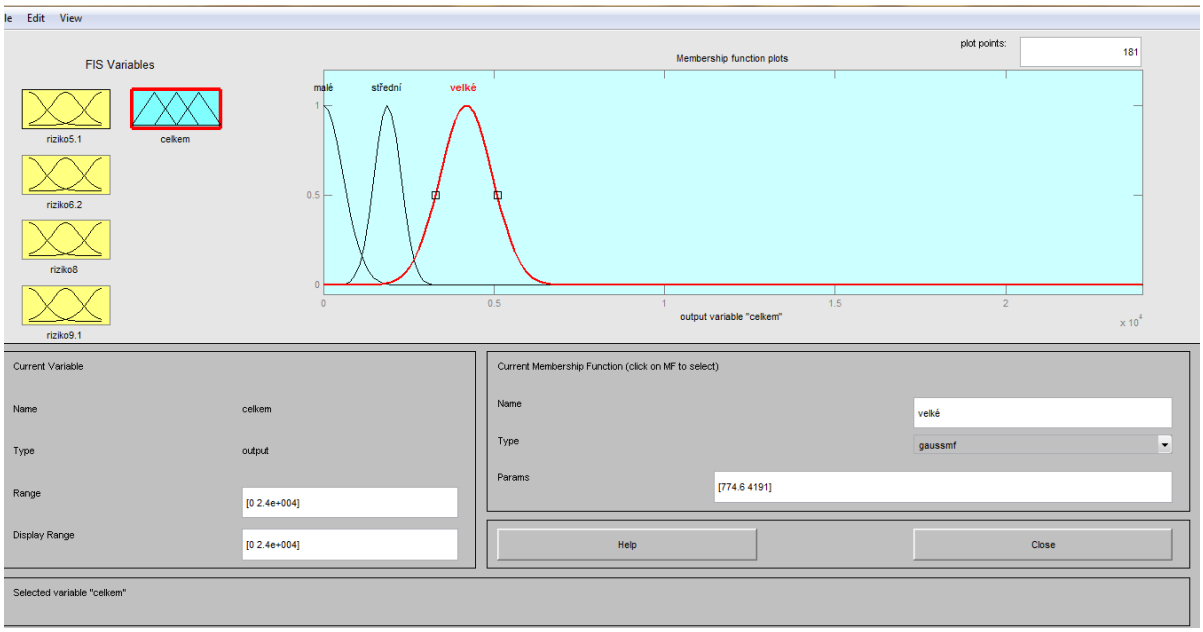


Obrázek 10. Varianta 2. Střední navýšení nákladů v důsledku souhrnného dopadu rizik v roce 2020 (celkem)

Pro charakteristiku „velkého“ dopadu celkového rizika pro obě varianty, viz obrázky níže, byl zvolen interval od 2 367 do 4 191 (mln.rub.). Celkový kontext (universum) možného dopadu celkových rizik je od 0 do 2.4e+004 (mln.rub).



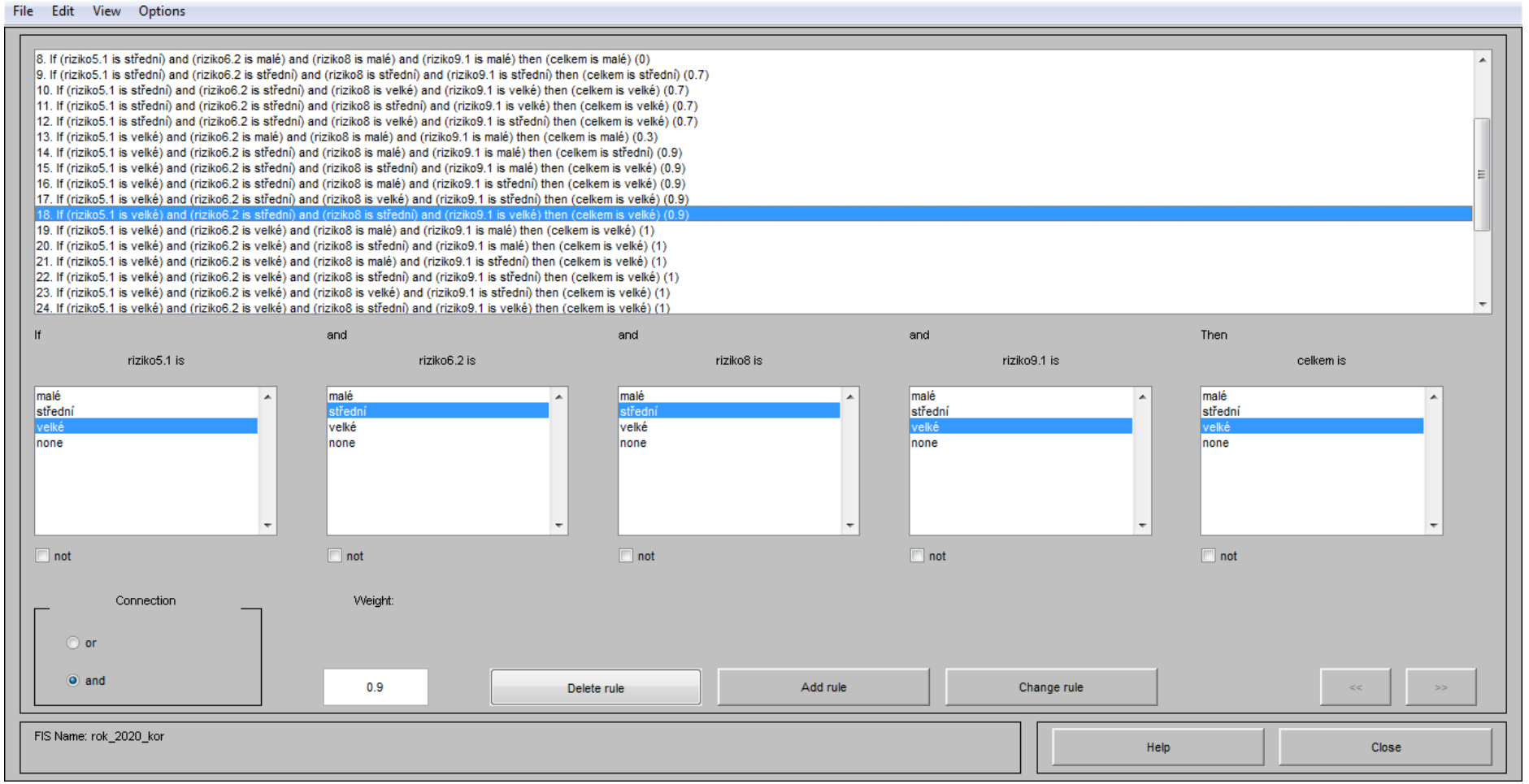
Obrázek 11. Varianta 1. Velké navýšení nákladů v důsledku souhrnného dopadu rizik v roce 2020 (celkem)



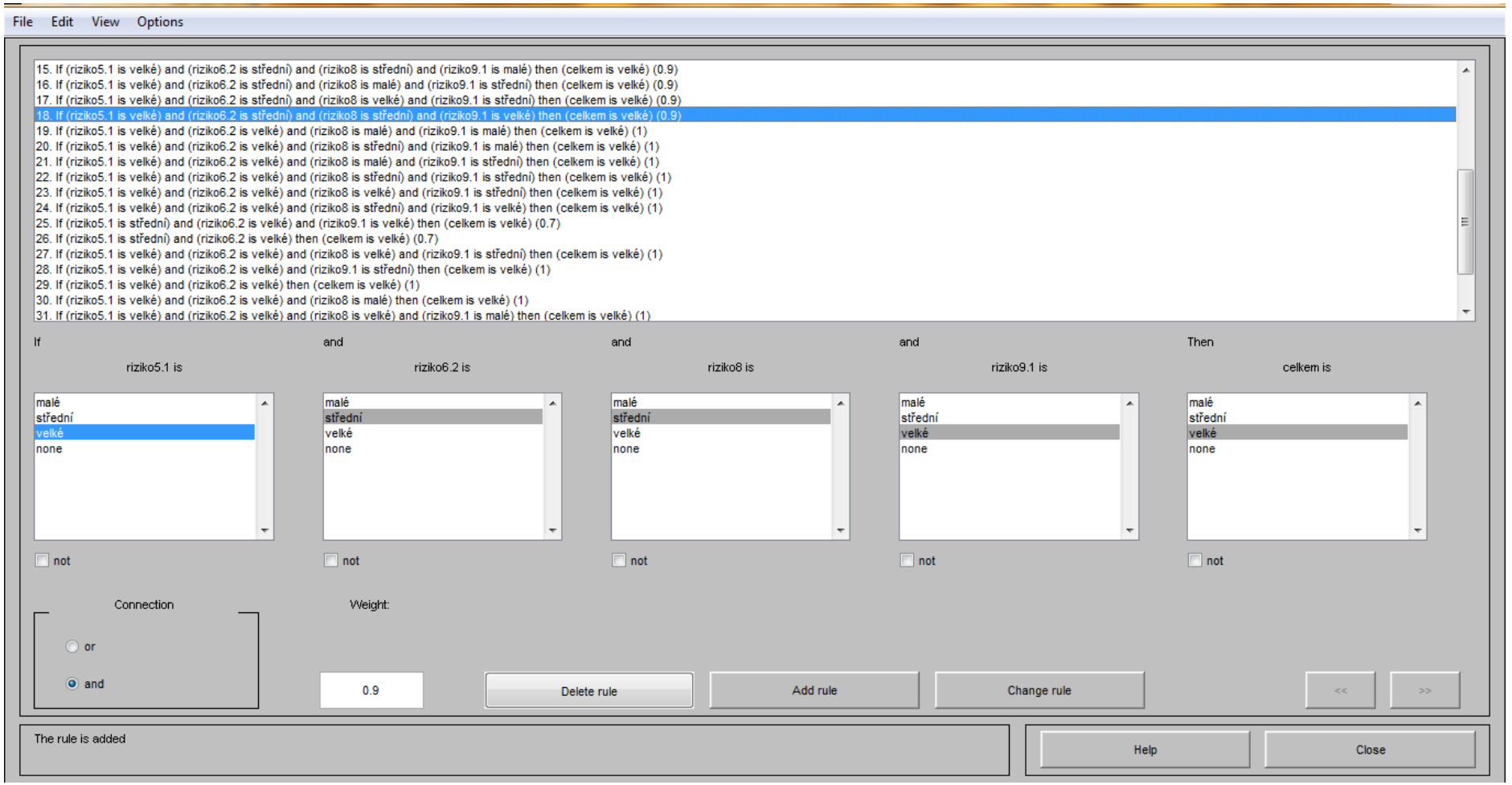
Obrázek 12. Varianta 2. Velké navýšení nákladů v důsledku souhrnného dopadu rizik v roce 2020 (celkem)

První fáze *– krok 2 - tvorba báze znalostí na základě podmíněných pravidel*

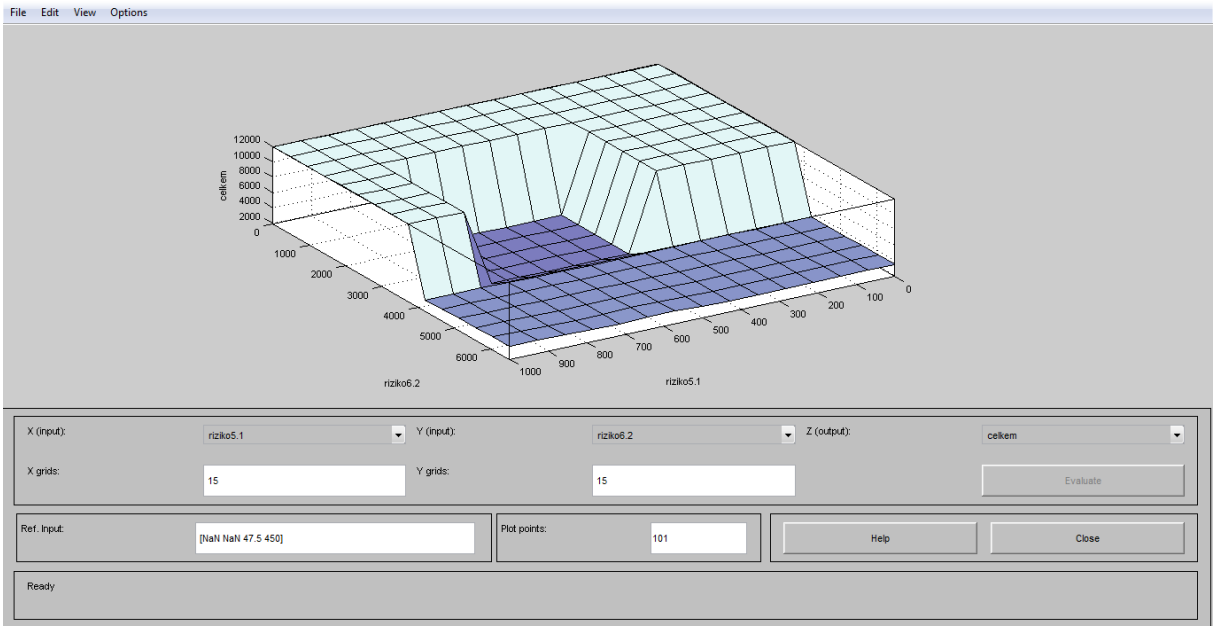
Proces fuzzy inferenčního systému, který funguje na základě báze podmíněných pravidel, určuje hodnotu výstupní proměnné v podobě neurčité množiny, která odpovídá neurčitým hodnotám vstupních proměnných. Báze podmíněných pravidel obsahující informaci o závislosti se skládá z podmíněných pravidel typu „Když - Potom“, s vahou na jazykové úrovni. Pomocí menu *Edit – Rules* lze nadefinovat pravidla, která lze prohlížet pomocí menu *View – Rules*, a také, na základě vstupních rizikových proměnných, vyhodnotit výstup celkového rizika. Jde tedy o realizaci testování vytvořeného modelu. Pokud výsledky odpovídají našim požadavkům, lze fuzzy model považovat za funkční. Obrázky 13 a 14 ukazují nastavení a práci s fuzzy pravidly, kdy určujeme konsekvent a antecedent pravidla s přiřazením koeficientu váhy tohoto pravidla k celkové bázi znalostí pro obě porovnávané varianty. Počet pravidel a jejich váhy byly nadefinovány ve stejném počtu (35 pravidel pro každou variantu). Obrázky 15 a 16 umožňují grafické prohlížení závislostí vstupních a výstupních proměnných.



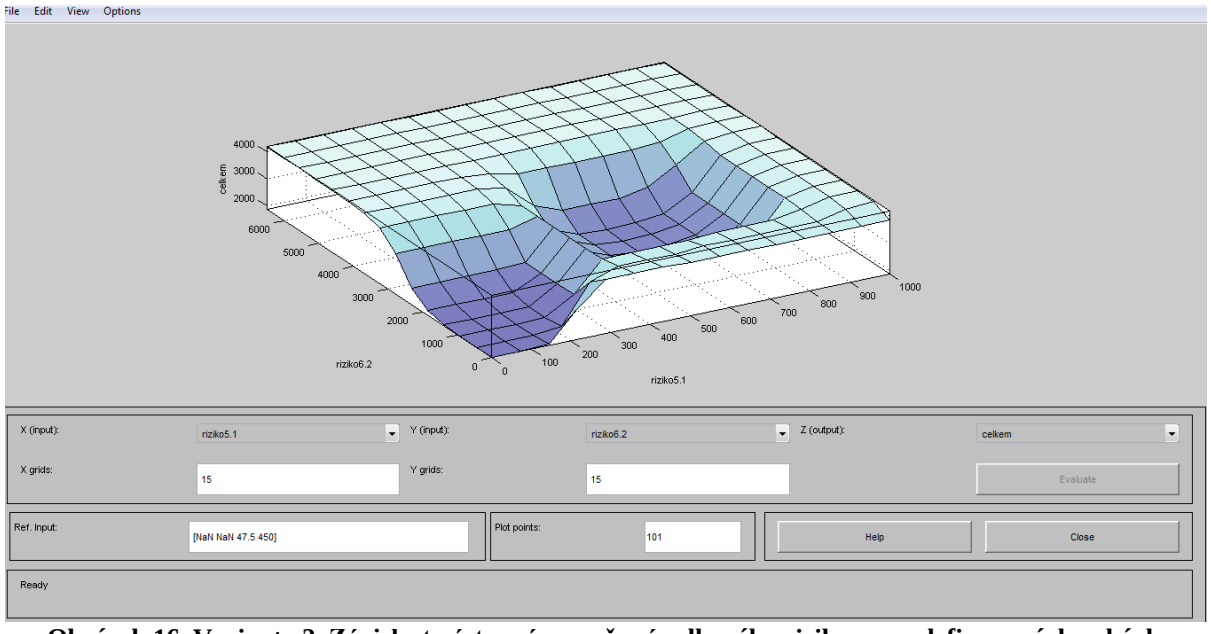
Obrázek 13. Varianta 1. Nastavení a práce s fuzzy pravidly na příkladu tvorby báze znalostí pro rok 2020



Obrázek 14. Varianta 2. Nastavení a práce s fuzzy pravidly na příkladu tvorby báze znalostí pro rok 2020



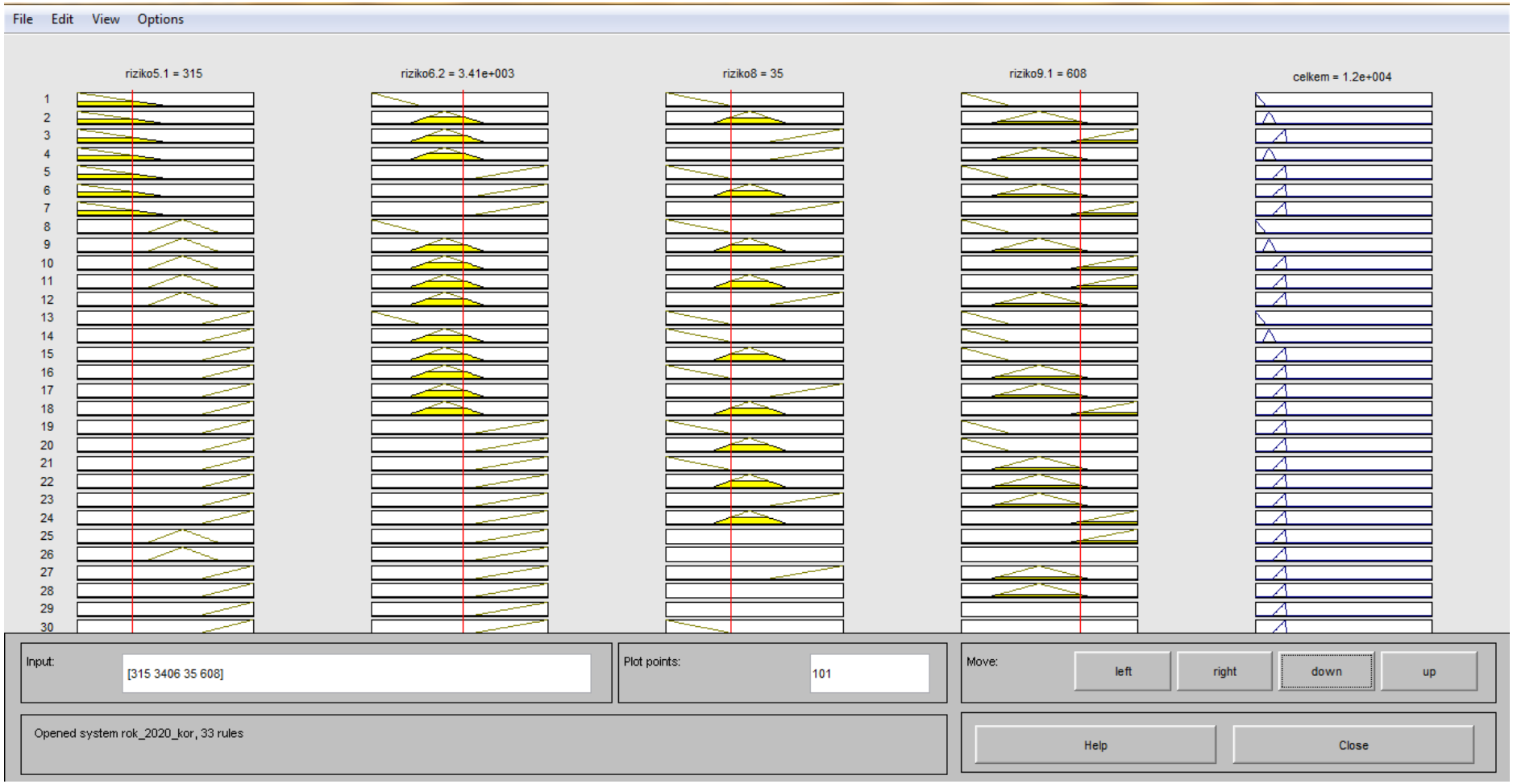
Obrázek 15. Varianta 1. Závislost výstupní proměnné celkového rizika na nadefinovaných vahách pravidel zohledňujících závislost mezi vstupními proměnnými rizik 6.2 a 5.1



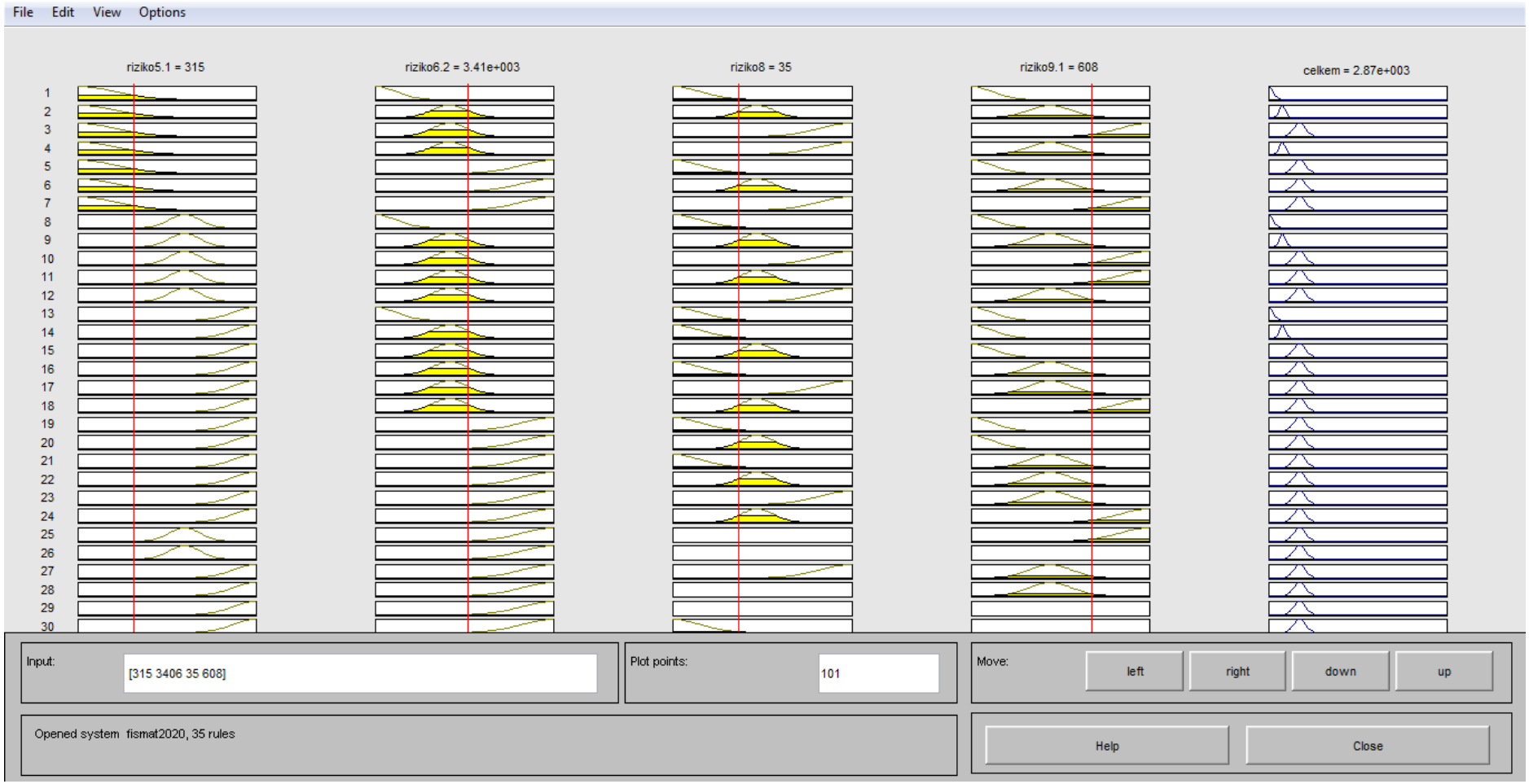
Obrázek 16. Varianta 2. Závislost výstupní proměnné celkového rizika na nadefinovaných vahách pravidel zohledňujících závislost mezi vstupními proměnnými rizik 6.2 a 5.1

První fáze *– krok 3 - vyhodnocení výstupní fuzzy množiny pomocí defuzzifikace*

Pomocí příkazu *Ruleview* je umožněno prohlížení výstupu celkového rizika za rok 2020. Výsledek defuzzifikace zjistíme tak, že nejdřív nastavíme hodnoty vstupních proměnných na „ostré“ hodnoty, což jsou podle tabulky č.1 (viz přílohy k 5. kapitole) střední očekávané hodnoty dopadů rizika podle pravděpodobnostních scénářů (hodnota – celkem!). Poté na základě operace agregace i defuzzifikace získáme „ostrou“ výstupní hodnotu celkového rizika za rok 2020. Příklad vyhodnocování výstupu celkového rizika za rok 2020 pomocí defuzzifikace Centroid ukazuje obrázek 17 pro 1.variantu a obrázek 18 pro 2.variantu. Přesné hodnoty vstupních parametrů odpovídajícího roku byly převzaty z tabulky č.1 přílohy k 5. kapitole, které odpovídají střední očekávané hodnotě dopadů rizika podle pravděpodobnostních scénářů, a to pro riziko 5.1 – 315; 6.2 – 3406; 8 – 35; 9.1 – 608 (mln.rub) byly stejné pro obě porovnávané varianty. Výsledná defuzzifikovaná hodnota celkového rizika za rok 2020 je kolem 1 200 (mln.rub). Tento výše popsaný postup získání výsledné hodnoty celkového rizika za určitý rok se opakuje pro každý rok realizace projektu. Tímto způsobem získáme množinu výsledných hodnot v rozsahu počtu let realizace projektu. S touto množinou se dále pracuje pomocí *a*-řezů podle Zadehova principu rozšíření.



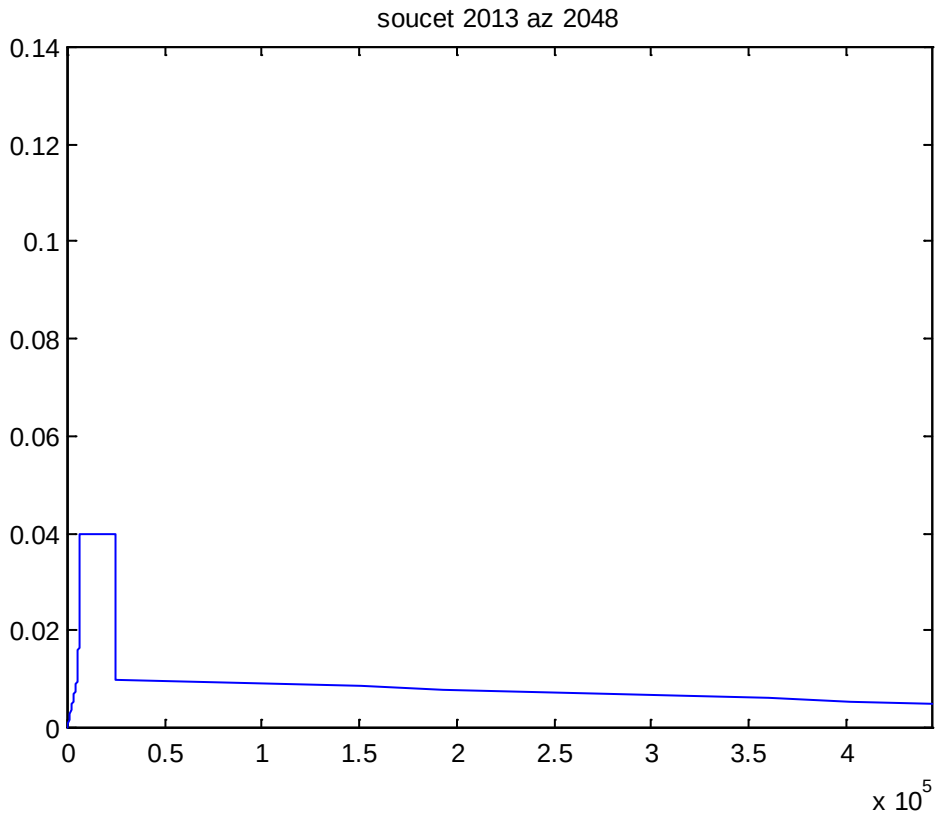
Obrázek 17. Varianta 1. Výsledná hodnota celkového rizika za rok 2020 po defuzzifikaci metodou Centroid.



Obrázek 18. Varianta 2. Výsledná hodnota celkového rizika za rok 2020 po defuzzifikaci metodou Centroid.

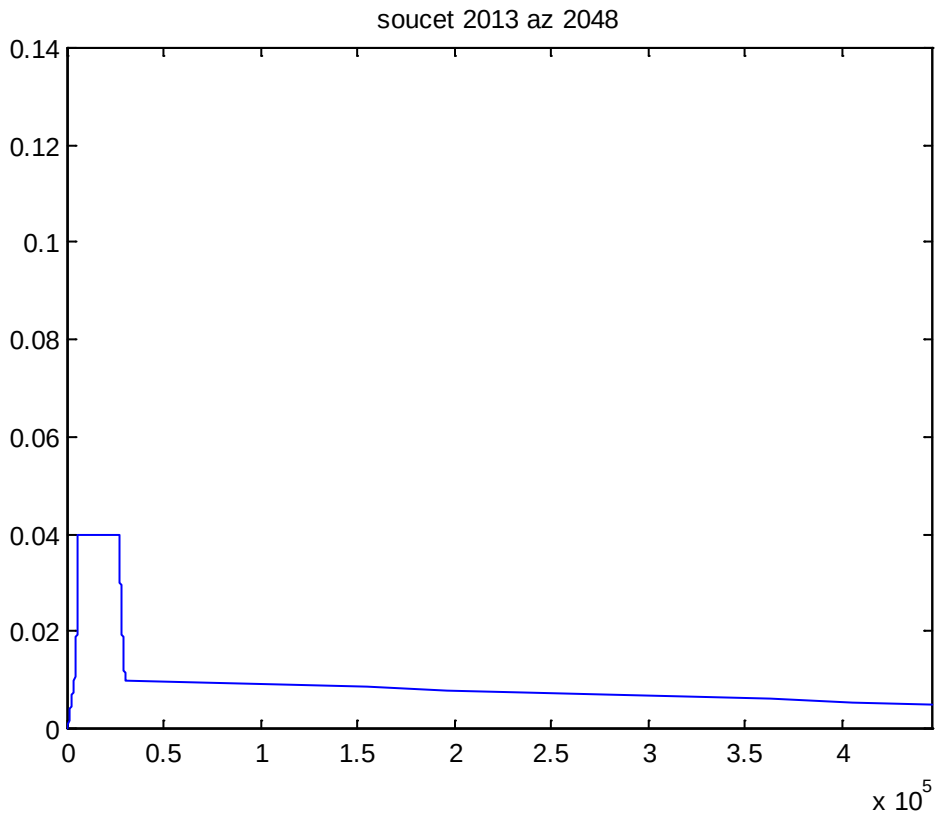
Druhá fáze - *Provedení operací potřebných k počítání s výstupními fuzzy množinami každého roku pomocí vytváření speciálních funkcí ve formátu m-souboru.* Zadehův princip rozšíření se prakticky provádí tak, že fuzzy množiny výsledných hodnot celkových rizik odpovídajících let „nařežeme“ pomocí *a*-řezů na intervaly. S využitím intervalové aritmetiky vypočteme *a*-řezy výsledné fuzzy množiny a pomocí interpolace z nich sestavíme výslednou fuzzy množinu. K těmto operacím je nutno vytvořit řadů m-souborů umožňujících pomocí různých funkcí provádět operace s fuzzy množinami. Příklad skripty s příkazy umožňujícími nastavení a práci s vytvořenými fuzzy množinami pomocí speciálních dodatečných funkcí pro provádění operace s fuzzy čísly pro 1.variantu je uveden v následující příloze ke kapitole 6 č.3.

Třetí fáze - *Hodnocení výsledku výstupní fuzzy množiny NPV převoditelných rizik metodou defuzzifikace.* Pomocí vytvořených m-funkcí bylo umožněno provést operací sčítání – *fuzarith* pro všechny množiny výsledných celkových rizik. Níže uvedený obrázek ukazuje podobu kumulované fuzzy množiny rizik projektu nadefinovaných pomocí trojúhelníkových funkcí příslušnosti za celkové období trvání projektu.



Obrázek 19. Varianta 1. Kumulovaná fuzzy množina rizik projektu za celkové období 2013 – 2048

Níže uvedený obrázek pro druhou variantu ukazuje podobu kumulované fuzzy množiny rizik projektu představených pomocí **funkcí příslušnosti ve formě Gaussových křivek** za celkové období trvání projektu.



Obrázek 20. Varianta 2. Kumulovaná fuzzy množina rizik projektu za celkové období 2013 – 2048

Jak již bylo výše uvedeno v kapitole 4 této práce je v teorii neurčitých množin, procedura defuzzifikace analogická vyhledávání charakteristik polohy náhodných veličin v teorii pravděpodobnosti (matematického očekávání, módy, mediánu). **Matematickému očekávání** v teorii pravděpodobnosti odpovídá v TNM hodnota zjištěná defuzzifikační metodou **Centroid**, **Mediáně – Střed Maxima (MOM)**, **Minimální hodnotě - Bisector** a **Maximální hodnotě - Módus**. Pokud rozdělení rizikových faktorů nebylo symetrické, pak, na rozdíl od pravděpodobnostního přístupu hodnocení výsledné hodnoty, ve kterém zkoumáme hodnotu Mediánu, je v TNM nejvhodnější charakteristikou Střed Maxima (MOM), který nejspíš odpovídá v teorii pravděpodobnosti Módu. Je to proto, že hustota množiny se zkoumá po provedení řezu ve vrchní části a ne ve spodní. Z toho vyplývá, že by nás měly zajímat nikoli okrajové hodnoty intervalu nosiče fuzzy

množiny, ale hodnoty intervalu řezu s jeho polohou vrcholu, protože modus je chápán obecněji jako obměna s největší četností vzhledem k nejbližšímu okolí. V našem případě jsou hodnoty získané různými metodami defuzzifikace výsledné kumulované fuzzy množiny za 35 let v obou variantách následující:

1. varianta:

- Centroid (Střední očekávaná hodnota) – 23 967 mln.rub.
- Bisector (Minimální hodnota) – 6 138.4 mln.rub.
- MOM (Mediána) – 15 439 mln.rub.

2. varianta:

- Centroid (Střední očekávaná hodnota) – 24 845 mln. rub.
- Bisector (Minimální hodnota) – 5 370.6 mln. rub.
- MOM (Mediána) – 16 102 mln.rub.

Uplatnění výsledků neurčitého přístupu hodnocení rizik při porovnání způsobů realizace projektu podle ukazatele VfM

Rozhodnutí, zda realizovat projekt formou PPP nebo veřejnou zakázkou, je založeno na konceptu hodnoty za peníze (VfM), ve kterém se porovnání obou variant projektu posuzuje z hlediska minimalizace nákladů během životního cyklu projektu a zvýšení efektivity jeho realizace. Rozdíl ukazatelů rozpočtové efektivity obou variant realizace umožňuje stanovit efektivitu vynaložených prostředků s přehlédnutím k rizikům projektu (VfM). Níže uvedené tabulky ukazují výpočet ukazatelů rozpočtové efektivity projektu s ohledem na jeho rizika (viz kapitola 3) pro obě porovnávané varianty.

Tabulka 1. Varianta 1. Porovnání přímé rozpočtové efektivity s přihlédnutím k rizikům projektu v rámci konceptu ukazatele VfM

	Veřejná zakázka	**PPP**
NPV rozpočtové efektivity, mln.rub..	267 005	256 900
NPV převoditelných rizik, mln.rub.	- 15 439	-
NPV rozpočtové efektivity s započtením převoditelných rizik, mln.rub.	251 566	256 900
VfM, mln.rub.	**5 334**	

Tabulka 2. Varianta 2. Porovnání přímé rozpočtové efektivity s přihlédnutím k rizikům projektu v rámci konceptu ukazatele VfM

	Veřejná zakázka	**PPP**
NPV rozpočtové efektivity, mln.rub..	267 005	256 900
NPV převoditelných rizik, mln.rub.	- 16 102	-
NPV rozpočtové efektivity s započtením převoditelných rizik, mln.rub.	250 903	256 900
VfM, mln.rub.	**5 997**	

Výsledky získané použitím Fuzzy Inferenčního Systému jsou uvedeny v závěrečné 6. kapitole disertační práce, kde je provedeno porovnání obou variant společně s výsledky dosaženými použitím metody Monte Carlo.

Příloha ke kapitole 6 č. 3

Příklad skripty s příkazy umožňujícími nastavení a práci s vytvořenými fuzzy množinami definovanými trojúhelníkovými funkcemi příslušnosti pomocí speciálních funkcí

```
dd=15751;
x=linspace(0,24000,dd);
fismat2013=readfis('rok_2013');
fismat2014=readfis('rok_2014_kor');
fismat2015=readfis('rok_2015_kor');
fismat2016=readfis('rok_2016_kor');
fismat2017=readfis('rok_2017');
fismat2018=readfis('rok_2018');
fismat2019=readfis('rok_2019');
fismat2020=readfis('rok_2020_kor');
fismat2021=readfis('rok_2021_kor');
fismat2022=readfis('rok_2022');
fismat2023=readfis('rok_2023');
fismat2024=readfis('rok_2024');
fismat2025=readfis('rok_2025');
fismat2026=readfis('rok_2026');
fismat2027=readfis('rok_2027');
fismat2028=readfis('rok_2028');
fismat2029=readfis('rok_2029');
fismat2030=readfis('rok_2030');
fismat2031=readfis('rok_2031');
fismat2032=readfis('rok_2032');
fismat2033=readfis('rok_2033');
fismat2034=readfis('rok_2034');
fismat2035=readfis('rok_2035');
fismat2036=readfis('rok_2036');
fismat2037=readfis('rok_2037');
fismat2038=readfis('rok_2038');
fismat2039=readfis('rok_2039');
fismat2040=readfis('rok_2040');
fismat2041=readfis('rok_2041');
fismat2042=readfis('rok_2042');
fismat2043=readfis('rok_2043');
fismat2044=readfis('rok_2044');
fismat2045=readfis('rok_2045');
fismat2046=readfis('rok_2046');
fismat2047=readfis('rok_2047');
fismat2048=readfis('rok_2048');

[output2013, IRR, ORR, ARR2013]= evalfis([225],fismat2013,dd);
[output2014, IRR, ORR, ARR2014]= evalfis([211;3090],fismat2014,dd);
[output2015, IRR, ORR, ARR2015]= evalfis([199;3071],fismat2015,dd);
[output2016, IRR, ORR, ARR2016]= evalfis([189;3040],fismat2016,dd);
[output2017, IRR, ORR, ARR2017]= evalfis([1336;18],fismat2017,dd);
[output2018, IRR, ORR, ARR2018]= evalfis([18],fismat2018,dd);
[output2019, IRR, ORR, ARR2019]= evalfis([18],fismat2019,dd);
[output2020, IRR, ORR, ARR2020]= evalfis([155;1680;17;300],fismat2020,dd);
[output2021, IRR, ORR, ARR2021]= evalfis([148;1651;18],fismat2021,dd);
[output2022, IRR, ORR, ARR2022]= evalfis([651;22],fismat2022,dd);
[output2023, IRR, ORR, ARR2023]= evalfis([21],fismat2023,dd);
[output2024, IRR, ORR, ARR2024]= evalfis([21;311],fismat2024,dd);
[output2025, IRR, ORR, ARR2025]= evalfis([21;195],fismat2025,dd);
[output2026, IRR, ORR, ARR2026]= evalfis([20],fismat2026,dd);
[output2027, IRR, ORR, ARR2027]= evalfis([20],fismat2027,dd);
[output2028, IRR, ORR, ARR2028]= evalfis([19;1302],fismat2028,dd);
[output2029, IRR, ORR, ARR2029]= evalfis([19;243],fismat2029,dd);
[output2030, IRR, ORR, ARR2030]= evalfis([19],fismat2030,dd);
```

```
[output2031, IRR, ORR, ARR2031]= evalfis([18],fismat2031,dd);
[output2032, IRR, ORR, ARR2032]= evalfis([18; 369],fismat2032,dd);
[output2033, IRR, ORR, ARR2033]= evalfis([17;901],fismat2033,dd);
[output2034, IRR, ORR, ARR2034]= evalfis([17],fismat2034,dd);
[output2035, IRR, ORR, ARR2035]= evalfis([17],fismat2035,dd);
[output2036, IRR, ORR, ARR2036]= evalfis([16;376],fismat2036,dd);
[output2037, IRR, ORR, ARR2037]= evalfis([16; 281],fismat2037,dd);
[output2038, IRR, ORR, ARR2038]= evalfis([16],fismat2038,dd);
[output2039, IRR, ORR, ARR2039]= evalfis([15],fismat2039,dd);
[output2040, IRR, ORR, ARR2040]= evalfis([15;1318],fismat2040,dd);
[output2041, IRR, ORR, ARR2041]= evalfis([15; 288],fismat2041,dd);
[output2042, IRR, ORR, ARR2042]= evalfis([14],fismat2042,dd);
[output2043, IRR, ORR, ARR2043]= evalfis([14],fismat2043,dd);
[output2044, IRR, ORR, ARR2044]= evalfis([13; 370],fismat2044,dd);
[output2045, IRR, ORR, ARR2045]= evalfis([13;947],fismat2045,dd);
[output2046, IRR, ORR, ARR2046]= evalfis([13],fismat2046,dd);
[output2047, IRR, ORR, ARR2047]= evalfis([12],fismat2047,dd);
[output2048, IRR, ORR, ARR2048]= evalfis([12;358],fismat2048,dd);


fm13=[x;ARR2013'];
kfm13=fm_konfm(fm13,1);
plot_fmm(kfm13(:,1:700));
title('rok 2013');

fm14=[x;ARR2014'];
kfm14=fm_konfm(fm14,1);
plot_fmm(kfm14);
title('rok 2014');
out2=fuzarith(x,kfm13(2,:)',kfm14(2,:)','sum');
%figure; plot(x,out2);
souc_13_14=[x;out2'];
plot_fmm(souc_13_14);
title('soucet 2013 a 2014');

%rezy=linspace(0,1 101);
%SS=Fm_soucet(kfm13,kfm14,rezy);
%plot_fmm(SS);
%fm_rez(kfm13,0.2)
%fm_rez(kfm14,0.2)
%fm_rez(souc_13_14,0.2)
%fm_rez(SS,0.2)

defuzz(x,out2,'centroid')
defuzz(x,out2,'bisector')
defuzz(x,out2,'mom')


fm15=[x;ARR2015'];
kfm15=fm_konfm(fm15,1);
plot_fmm(kfm15);
title('rok 2015');
out3=fuzarith(x,out2,kfm15(2,:),'sum');
souc_13_15=[x;out3'];
plot_fmm(souc_13_15);
title('soucet 2013 az 2015');
```

```
defuzz(x,out3,'centroid')
defuzz(x,out3,'bisector')
defuzz(x,out3,'mom')

fm16=[x;ARR2016'];
kfm16=fm_konfm(fm16,1);
plot_fmm(kfm16);
title('rok 2016');
out4=fuzarith(x,out3,kfm16(2,:),'sum');
souc_13_16=[x;out4'];
plot_fmm(souc_13_16);
title('soucet 2013 az 2016');
defuzz(x,out4,'centroid')
defuzz(x,out4,'bisector')
defuzz(x,out4,'mom')

fm17=[x;ARR2017'];
kfm17=fm_konfm(fm17,1);
plot_fmm(kfm17);
title('rok 2017');
out5=fuzarith(x,out4,kfm17(2,:),'sum');
souc_13_17=[x;out5'];
plot_fmm(souc_13_17);
title('soucet 2013 az 2017');
defuzz(x,out5,'centroid')
defuzz(x,out5,'bisector')
defuzz(x,out5,'mom')

fm18=[x;ARR2018'];
kfm18=fm_konfm(fm18,1);
plot_fmm(kfm18(:,1:100));
title('rok 2018');
out6=fuzarith(x,out5,kfm18(2,:),'sum');
souc_13_18=[x;out6'];
plot_fmm(souc_13_18);
title('soucet 2013 az 2018');
defuzz(x,out6,'centroid')
defuzz(x,out6,'bisector')
defuzz(x,out6,'mom')


fm19=[x;ARR2019'];
kfm19=fm_konfm(fm19,1);
plot_fmm(kfm19(:,1:100));
title('rok 2019');
out7=fuzarith(x,out6,kfm19(2,:),'sum');
souc_13_19=[x;out7'];
plot_fmm(souc_13_19);
title('soucet 2013 az 2019');
defuzz(x,out7,'centroid')
defuzz(x,out7,'bisector')
defuzz(x,out7,'mom')

fm20=[x;ARR2020'];
kfm20=fm_konfm(fm20,1);
plot_fmm(kfm20);
```

```
title('rok 2020');
out8=fuzarith(x,out7,kfm20(2,:),'sum');
souc_13_20=[x;out8'];
plot_fmm(souc_13_20);
title('soucet 2013 az 2020');
defuzz(x,out8,'centroid')
defuzz(x,out8,'bisector')
defuzz(x,out8,'mom')

fm21=[x;ARR2021'];
kfm21=fm_konfm(fm21,1);
plot_fmm(kfm21);
title('rok 2021');
out9=fuzarith(x,out8,kfm21(2,:),'sum');
souc_13_21=[x;out9'];
plot_fmm(souc_13_21);
title('soucet 2013 az 2021');
defuzz(x,out9,'centroid')
defuzz(x,out9,'bisector')
defuzz(x,out9,'mom')

fm22=[x;ARR2022'];
kfm22=fm_konfm(fm22,1);
plot_fmm(kfm22(:,1:500));
title('rok 2022');
out10=fuzarith(x,out9,kfm22(2,:),'sum');
souc_13_22=[x;out10'];
plot_fmm(souc_13_22);
title('soucet 2013 az 2022');
defuzz(x,out10,'centroid')
defuzz(x,out10,'bisector')
defuzz(x,out10,'mom')

fm23=[x;ARR2023'];
kfm23=fm_konfm(fm23,1);
plot_fmm(kfm23(:,1:300));
title('rok 2023');
out11=fuzarith(x,out10,kfm23(2,:),'sum');
souc_13_23=[x;out11'];
plot_fmm(souc_13_23);
title('soucet 2013 az 2023');
defuzz(x,out11,'centroid')
defuzz(x,out11,'bisector')
defuzz(x,out11,'mom')

fm24=[x;ARR2024'];
kfm24=fm_konfm(fm24,1);
plot_fmm(kfm24(:,1:300));
title('rok 2024');
out12=fuzarith(x,out11,kfm24(2,:),'sum');
souc_13_24=[x;out12'];
plot_fmm(souc_13_24);
title('soucet 2013 az 2024');
defuzz(x,out12,'centroid')
defuzz(x,out12,'bisector')
defuzz(x,out12,'mom')
```

```
fm25=[x;ARR2025'];
kfm25=fm_konfm(fm25,1);
plot_fmm(kfm25(:,1:300));
title('rok 2025');
out13=fuzarith(x,out12,kfm25(2,:),'sum');
souc_13_25=[x;out13'];
plot_fmm(souc_13_25);
title('soucet 2013 az 2025');
defuzz(x,out13,'centroid')
defuzz(x,out13,'bisector')
defuzz(x,out13,'mom')

fm26=[x;ARR2026'];
kfm26=fm_konfm(fm26,1);
plot_fmm(kfm26(:,1:300));
title('rok 2026');
out14=fuzarith(x,out13,kfm26(2,:),'sum');
souc_13_26=[x;out14'];
plot_fmm(souc_13_26);
title('soucet 2013 az 2026');
defuzz(x,out14,'centroid')
defuzz(x,out14,'bisector')
defuzz(x,out14,'mom')

fm27=[x;ARR2027'];
kfm27=fm_konfm(fm27,1);
plot_fmm(kfm27(:,1:300));
title('rok 2027');
out15=fuzarith(x,out14,kfm27(2,:),'sum');
souc_13_27=[x;out15'];
plot_fmm(souc_13_27);
title('soucet 2013 az 2027');
defuzz(x,out15,'centroid')
defuzz(x,out15,'bisector')
defuzz(x,out15,'mom')


fm28=[x;ARR2028'];
kfm28=fm_konfm(fm28,1);
plot_fmm(kfm28(:,1:500));
title('rok 2028');
out16=fuzarith(x,out15,kfm28(2,:),'sum');
souc_13_28=[x;out16'];
plot_fmm(souc_13_28);
title('soucet 2013 az 2028');
defuzz(x,out16,'centroid')
defuzz(x,out16,'bisector')
defuzz(x,out16,'mom')

fm29=[x;ARR2029'];
kfm29=fm_konfm(fm29,1);
plot_fmm(kfm29(:,1:500));
title('rok 2029');
out17=fuzarith(x,out16,kfm29(2,:),'sum');
souc_13_29=[x;out17'];
```

```
plot_fmm(souc_13_29);
title('soucet 2013 az 2029');
defuzz(x,out17,'centroid')
defuzz(x,out17,'bisector')
defuzz(x,out17,'mom')

fm30=[x;ARR2030'];
kfm30=fm_konfm(fm30,1);
plot_fmm(kfm30(:,1:100));
title('rok 2030');
out18=fuzarith(x,out17,kfm30(2,:),'sum');
souc_13_30=[x;out18'];
plot_fmm(souc_13_30);
title('soucet 2013 az 2030');
defuzz(x,out18,'centroid')
defuzz(x,out18,'bisector')
defuzz(x,out18,'mom')

fm31=[x;ARR2031'];
kfm31=fm_konfm(fm31,1);
plot_fmm(kfm31(:,1:100));
title('rok 2031');
out19=fuzarith(x,out18,kfm31(2,:),'sum');
souc_13_31=[x;out19'];
plot_fmm(souc_13_31);
title('soucet 2013 az 2031');
defuzz(x,out19,'centroid')
defuzz(x,out19,'bisector')
defuzz(x,out19,'mom')

fm31=[x;ARR2031'];
kfm31=fm_konfm(fm31,1);
out19=fuzarith(x,out18,kfm31(2,:),'sum');

fm32=[x;ARR2032'];
kfm32=fm_konfm(fm32,1);
out20=fuzarith(x,out19,kfm32(2,:),'sum');

fm33=[x;ARR2033'];
kfm33=fm_konfm(fm33,1);
out21=fuzarith(x,out20,kfm33(2,:),'sum');

fm34=[x;ARR2034'];
kfm34=fm_konfm(fm34,1);
out22=fuzarith(x,out21,kfm34(2,:),'sum');

fm35=[x;ARR2035'];
kfm35=fm_konfm(fm35,1);
out23=fuzarith(x,out22,kfm35(2,:),'sum');

fm36=[x;ARR2036'];
kfm36=fm_konfm(fm36,1);
out24=fuzarith(x,out23,kfm36(2,:),'sum');

fm37=[x;ARR2037'];
```

```
kfm37=fm_konfm(fm37,1);
out25=fuzarith(x,out24,kfm37(2,:),'sum');

fm38=[x;ARR2038'];
kfm38=fm_konfm(fm38,1);
out26=fuzarith(x,out25,kfm38(2,:),'sum');

fm39=[x;ARR2039'];
kfm39=fm_konfm(fm39,1);
out27=fuzarith(x,out26,kfm39(2,:),'sum');

fm40=[x;ARR2040'];
kfm40=fm_konfm(fm40,1);
out28=fuzarith(x,out27,kfm40(2,:),'sum');

fm41=[x;ARR2041'];
kfm41=fm_konfm(fm41,1);
out29=fuzarith(x,out28,kfm41(2,:),'sum');

fm42=[x;ARR2042'];
kfm42=fm_konfm(fm42,1);
out30=fuzarith(x,out29,kfm42(2,:),'sum');

fm43=[x;ARR2043'];
kfm43=fm_konfm(fm43,1);
out31=fuzarith(x,out30,kfm43(2,:),'sum');

fm44=[x;ARR2044'];
kfm44=fm_konfm(fm44,1);
out32=fuzarith(x,out31,kfm44(2,:),'sum');

fm45=[x;ARR2045'];
kfm45=fm_konfm(fm45,1);
out33=fuzarith(x,out32,kfm45(2,:),'sum');

fm46=[x;ARR2046'];
kfm46=fm_konfm(fm46,1);
out34=fuzarith(x,out33,kfm46(2,:),'sum');

fm47=[x;ARR2047'];
kfm47=fm_konfm(fm47,1);
out35=fuzarith(x,out34,kfm47(2,:),'sum');

fm48=[x;ARR2048'];
kfm48=fm_konfm(fm48,1);
plot_fmm(kfm48(:,1:200));
title('rok 2048');
out36=fuzarith(x,out35,kfm48(2,:),'sum');
souc_13_48=[x;out36'];
plot_fmm(souc_13_48);
title('soucet 2013 az 2048');
defuzz(x,out36,'centroid')
defuzz(x,out36,'bisector')
defuzz(x,out36,'mom')
```