

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA EKONOMIKY, MANAŽERSTVÍ
A HUMANITNÍCH VĚD



REÁLNÉ OPCE A JEJICH VYUŽITÍ V PROSTŘEDÍ IT TECHNOLOGIÍ

Disertační práce

Pavel Náplava

Praha, srpen, 2017

Doktorský studijní program: P 2612, Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: 2608V003, Řízení a ekonomika podniku

Školitel: prof. Ing. Oldřich Starý, CSc.

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval svému školiteli prof. Ing. Oldřichu Starému, CSc. za odborné vedení, cenné rady a věcné připomínky jak při psaní této disertační práce, tak i v průběhu celého doktorského studia. Také bych rád poděkoval všem studentům, dnes již ve většině případů absolventům, kteří přispěli k úspěšnému dokončení návrhové části práce. Obzvláště pak Martinu Mastnému a Václavu Trnkovi, kteří pomohli prakticky prověřit navržené metody hodnocení flexibility cloudu.

Dále bych rád poděkoval členům Katedry ekonomiky, manažerství a humanitních věd za podporu v rámci mého doktorského studia a kolegům z Centra znalostního managementu, kteří mně umožnili doktorské studium absolvovat. V neposlední řadě bych rád za podporu a trpělivost poděkoval svým blízkým a přátelům.

Abstrakt

Disertační práce se zabývá problematikou hodnocení investic v oblasti IT infrastruktury. Až do přelomu dvacátého a dvacátého prvního století byla veškerá infrastruktura pořizována a provozována převážně v on-premise podobě. S přelomem století dochází k posunu způsobu realizace směrem k fenoménu, nazývanému Cloud Computing. Jedním z klíčových argumentů, mimo jednoduchosti spuštění a provozu, pro výběr tohoto typu infrastruktury, je výše nákladů na pořízení a provoz. O Cloud Computingu se obecně tvrdí, že náklady na jeho využívání jsou nižší, než náklady na on-premise infrastrukturu. Pravda to není jen v případech, kdy se zpracovává a přenáší velké množství dat a je vyžadována stabilita výpočetního výkonu. Náklady se obvykle porovnávají prostřednictvím srovnání celkových nákladů na pořízení a provoz. Prvním problémem tohoto srovnání je skutečnost, že u on-premise infrastruktury se obvykle pro srovnání používají náklady na vybudování a provoz kompletní nové infrastruktury. Druhým, významnějším problémem, je nezapočítání flexibility infrastruktury s ohledem na možné budoucí navyšování a snižování požadavků. Přitom je flexibilita klíčovou vlastností Cloud Computingu.

Tato disertační práce se na flexibilitu Cloud Computingu zaměřuje a jejím cílem bylo najít metodu, která ji umožní finančně ohodnotit. Pro tyto účely je v práci nejprve provedena analýza vlastností Cloud Computingu a jeho vazba na firemní byznys strategii. Především se hodnotí agilnost organizace a s ní spojená flexibilita, kterou musí infrastruktura poskytovat. Ve druhém kroku je navázáno hledáním metody finančního hodnocení investic, která by flexibilitu uměla vyčíslit. Vhodná se ukázala být metoda Reálných opcí, která jako jeden ze vstupních parametrů používá hodnotu volatility, kterou lze chápat jako proměnlivost (flexibilitu) prostředí. Na výběr metody navazuje řešerše existujících zdrojů, v rámci které se hledaly existující příklady využití metody Reálných opcí v oblasti IT. Výstupy řešerše ukázaly, že příkladů využití není mnoho. Proto byly autorem práce provedeny vlastní experimenty, které mimo jiné ukázaly, že finanční hodnotu flexibility lze založit na výpočtu vnitřních hodnot uzlů binomického stromu.

Návrhem výpočtu vnitřních hodnot uzlů stromu a celkového vyčíslení hodnoty flexibility, se zabývá poslední část práce. Jsou v ní navrženy dvě varianty metody, založené na porovnání flexibility Cloud Computingu a on-premise infrastruktury. Pro tyto účely byl navržený nový typ exotické opce s pamětí, reflektující historii průchodu binomickým stromem. Varianty se liší způsobem započítání prvotní investice do on-premise infrastruktury a byly ověřeny na vybraných praktických scénářích, které potvrdily předpokládané chování výstupních hodnot. Pro snížení výpočetní a časové složitosti výpočtu výsledné hodnoty flexibility byla navržena nová datová struktura a algoritmus průchodu stromem. Práce je uzavřena vyhodnocením stanovených cílů, včetně potvrzení hypotézy, že metoda Reálných opcí je vhodným nástrojem pro hodnocení investic v oblasti IT služeb, konkrétně Cloud Computingu. Přínos práce spočívá v jiném pohledu na problematiku hodnocení nákladů na provoz infrastruktury, zaměřeném na flexibilitu. Hodnocena je schopnost za minimálních ztrát a s minimálními náklady poskytnout požadovaný výkon při změnách okolního prostředí. Navržené a ověřené varianty metody výpočtu, založené na využití nově navržené exotické opce s pamětí, je možné považovat za originální přístup k tomuto hodnocení. Po zobecnění lze metodu použít i v jiných segmentech utilit, ke kterým je Cloud Computing přirovnáván.

Klíčová slova: projekt, investice, opce, reálné opce, strategie, utility, infrastruktura, cloud computing, on-premise, binomický strom, agilita, flexibilita.

Abstract

The dissertation deals with the evaluation of investments in IT infrastructure. Until the end of the twenties century, organizations realized and operated infrastructure mainly in on-premise form. Since the beginning of the twenty-first century, the infrastructure form has been shifting towards a new phenomenon, called Cloud Computing. Purchasing and operating costs are key arguments, apart from the simplicity of its start-up and operation, for choosing this infrastructure form. Providers and technological leaders claim that the costs of using Cloud Computing are lower than the costs of on-premise infrastructure. It is not true only in cases where it is necessary to transfer large amounts of data, and stability of computing resources has a significant role. Evaluation of the infrastructure costs mostly comes from the total costs of ownership calculations. There exist two problems of such an evaluation in practice. In the case of on-premise infrastructure, it is necessary to know whether organization builds a completely new or extends the existing infrastructure. The second, more important problem lies in the static calculation of costs that do not cover the agile evolution of an organization. This dissertation focuses on the evaluation of flexibility because the flexibility is one of the key Cloud Computing features. It aims to find a method that will allow calculating financial value of flexibility.

The dissertation starts with the definition of the term infrastructure and analysis of Cloud Computing properties. Then, it analyzes different links to business strategy as a base for infrastructure planning. It discusses an organization agility and from it derived infrastructure flexibility. The second part of the dissertation describes commonly used methods of financial evaluation of investments and compares them concerning flexibility input parameter. A Real Option method is the only identified method because it uses for the valuation of the option value the volatility value, which represents the environment's flexibility. The second part ends with the systematic literature review of the existing articles on the usage of Real Options as a tool for evaluating IT investments. Outputs of the review have shown that the number of existing articles is low. To confirm the outputs of the review the author of the thesis has performed his experiments that helped to identify the idea that the calculation and merging of the intrinsic values of binomial tree nodes enable to calculate the value of Cloud Computing flexibility.

The last part of the dissertation presents the proposed method and its two calculation variants. It was necessary to define a new type of exotic option with a strong memory, reflecting the complete history of passes through the binomial tree. The variants differ in the way in which they deal with the initial investment value of an on-premise infrastructure. The second half of the last part describes tests, based on defined practical scenarios and their application for the method variants verification. For testing purposes, the author implemented two new applications. Appropriate data representation and newly developed tree pass through algorithm significantly reduced the computational and time complexity. In the end, the dissertation evaluates specified goals and confirms the hypothesis that the Real Option method is an appropriate tool for an evaluation of IT, specifically Cloud Computing, investments. The main benefit of the work is the new, different view on the evaluation of infrastructure flexibility. Proposed and verified variants of the calculation method, based on the use of the newly designed exotic option with a strong memory, represent an original approach to this evaluation. After some generalization, it is possible to use the method in different segments of utilities too.

Keywords: project, investment, option, real option, strategy, utility, infrastructure, cloud computing, on-premise, binomial tree, agility, flexibility.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracoval samostatně a že jsem důsledně citoval použitou literaturu. Nemám námitky proti půjčování nebo zveřejňování této disertační práce.

V Praze, dne 31. 8.2017

Ing. Pavel Náplava

Seznam použitých pojmů a zkratk

Americká opce (American Option) - opce, která může být uplatněna kdykoli během doby trvání opčního práva.

Anuita - konstantní platba po smlouvenou dobu. Je složená ze splátky úroku a jistiny. Po smlouvenou dobu se její výše nemění, mění se jen poměr mezi úrokem a splátkou jistiny. Na začátku splácení bývá vyšší úrok, ke konci doby splatnosti se úrok snižuje.

Arbitráž – nákup jednoho cenného papíru (aktiva) prodej jiného cenného papíru s cílem dosáhnout zisku bez rizika. Často se jedná o využití malých cenových rozdílů téhož aktiva na dvou různých trzích nebo o využití rozdílných cen různých aktiv, které spolu úže souvisí.

Asijská opce (asian option, average option) – opce, v rámci které je spotová nebo realizační cena nahrazena průměrnou hodnotou z hodnot, kterou podkladové aktivum nabývalo v celé nebo vybrané životnosti opce.

At-the-Money (na penězích) – stav, při kterém se aktuální spotová cena opce rovná expirační (strike) ceně.

Bariérová opce (Barrier Option) – opce u které je její uplatnění vázáno na dosažení předem stanovené hranice.

Bermudská opce (Bermudan Option) – opce s právem vypořádání v několika datech během určitého období až do doby splatnosti opce.

Bezriziková úroková míra - výnosová míra z krátkodobých státních pokladničních poukazek.

Binomická věta - matematická věta, díky které můžeme n-tou mocninu dvou sčítanců rozložit na součet n+1 sčítanců.

Binomický model – nespojitý model oceňování opcí, který předpokládá, že se cena podkladového aktiva mění diskrétním způsobem.

Black-Scholesův model – spojitý model oceňování opcí, který předpokládá spojitý vývoj ceny podkladového aktiva.

CAPEX - Capital Expenditures (kapitálové, investiční, náklady).

Cash Flow – peněžní tok neboli příjem / výdej peněžních prostředků.

CFO (Chief Financial Officer) - finanční ředitel.

CIO (Chief Information Officer) - ředitel IT oddělení.

Cloud Computing - aplikace či služba, ke které je možné se připojit z jakéhokoliv počítače s přístupem k síti.

Časová hodnota opce – rozdíl mezi opční prémie a vnitřní hodnotou opce.

Datové centrum (datacentrum) - centrum, které má optimalizovanou spotřebu elektrické energie, využívá hospodárný hardware a jeho virtualizaci. Poskytuje pronájem a provoz aplikací včetně pronájmu výpočetního výkonu ve vysoce bezpečném prostředí.

Diskontní míra (diskont) - výnosová míra, kterou jsou diskontovány (pře počítány) budoucí peněžní toky na současnou hodnotu.

Dividenda – podíl na čistém zisku organizace (po zdanění), který je po schválení valnou hromadou vyplácen akcionářům.

Dlouhá (long) pozice – postavení držitele opce, ve kterém má právo se rozhodnout, zda uzavřenou opci uplatní.

Dynamické programování - odvětví optimalizace, jehož klíčovou myšlenkou je rozklad problému na řešení prostřednictvím podproblémů, jejichž řešení je ukládáno pro další možné použití. Metoda je obzvláště vhodná na úlohy, které se dají dělit na menší úlohy, které jsou si podobné a mohou se opakovat.

Emerging (vznikající) technologie - technologie, jež jsou v současné době dostupné, vznikají, nebo se očekává, že budou v příštích letech vyvinuty, a které podstatným způsobem změní stávající technologické procesy, ekonomické modely a fungování společnosti jako celku.

ENPV (Expanded Net Present Value) – modifikovaná hodnota ukazatele NPV, rozšířená o započítanou hodnotu flexibility. Odpovídá hodnotě Reálné opce.

EVA (Economic Value Added, ekonomická přidaná hodnota) – ukazatel, měřící finanční výkonnost. Představuje rozdíl mezi dosaženým čistým provozním ziskem a celkovými náklady na kapitál.

Evropská opce (European Option) - opce, která může být uplatněna jen v předem dohodnutém datu.

Expirační (Strike, realizační) cena – cena, za kterou má vlastník opce právo v budoucnu koupit/prodat podkladové aktivum.

Finanční derivát – cenný papír, jehož hodnota je odvozena od jiného aktiva.

Finanční opce – cenné papíry, které dávají kupujícímu právo prodat nebo koupit podkladové aktivum v dohodnutém čase za dohodnutou cenu.

Finanční účetnictví - Finanční účetnictví je výkaz o vnějších finančních vazbách podniku (firmy) jako celku. Má poskytovat přesný a spolehlivý přehled o pasívech a aktivech podniku, o jeho (účetních) nákladech a výnosech a o hospodářském výsledku za období 12 po sobě následujících měsíců. Na rozdíl od manažerského účetnictví, určeného pro vlastní vedení firmy, slouží především vnějším uživatelům a partnerům, jako jsou banky, akcionáři, finanční úřad, pojišťovna a podobně a má jim podávat obraz o finanční situaci podniku. Vzhledem ke svému významu pro celek hospodářství je finanční účetnictví řízeno zákony a nařízením ministerstva financí.

Flexibilita - schopnost pružně reagovat na měnící se podmínky, přizpůsobivost.

Framework – metodický rámec pro provádění konkrétních činností. Může se jednat o sadu softwarových knihoven, doporučených postupů, nástrojů, nejlepších praktik, které zjednodušují a systematizují provádění opakovaných činností.

Historická volatilita – volatilita ceny podkladového aktiva, která se zpětně dopočítá ze známých tržních cen podkladového aktiva.

Výsledek hospodaření (dříve hospodářský výsledek) – rozdíl mezi výnosy a náklady. Jeho výsledkem může být zisk v případě, že výnosy převáží nad náklady, nebo ztráta v případě, kdy naopak výnosy nepokryjí veškeré vynaložené náklady.

IaaS (Infrastructure-as-a-Service) - výpočetní infrastruktura, která je poskytována a spravována přes internet.

Implicitní volatilita – volatilita ceny podkladového aktiva, která se zpětně dopočítá z již známé tržní ceny opce.

Internet věcí (Internet of Things, IoT) - propojení vestavěných zařízení s internetem.

In-the-Money (v penězích) - stav, při kterém v případě kupní opce aktuální spotová cena převyšuje expirační a v případě prodejní opce expirační cena převyšuje spotovou.

Investice - vynaložení kapitálu, které přinese v budoucnosti užitek a předpokládá se jeho zhodnocení.

Investiční projekt - soubor technických a ekonomických studií sloužících k přípravě, realizaci, financování a efektivnímu provozování navrhované investice.

Investiční náklady - náklady obchodní společnosti na pořízení nového a obnovu starého (nejen) fyzického majetku.

IRR (Internal Rate of Return, vnitřní výnosové procento) – diskontní míra, při které se současná hodnota očekávaných výnosů z investice rovná současné hodnotě výdajů na investici.

IT služba - jasně definovaná a popsána funkcionalita, poskytovaná informačními technologiemi, která podporuje nebo umožňuje chod vybraného podnikového procesu (činnosti).

IT strategie (ICT strategie) - dlouhodobý plán, definující způsob dosažení cílů organizace v oblasti informačních technologií.

Komodita - zboží, které je na trhu obchodováno bez rozdílů v kvalitě. Dodávky od různých dodavatelů jsou vzájemně zastupitelné.

Konkurenční výhoda - Konkurenční výhoda je něco, co nabízí organizace navíc oproti jejím konkurentům.

Krátká (short) pozice – postavení držitele opce, ve kterém má povinnost podřídit se rozhodnutí o uplatnění opce druhé strany.

Kupní opce (Call Option) - právo majitele opce koupit podkladové aktivum za dohodnutou cenu.

Manažerské účetnictví - systém informací, jehož úkolem je poskytování informačních dat pro rozhodování řídicích pracovníků.

Metoda Reálných opcí - metoda oceňování investic a společností, založená na ocenění reálných aktiv, jako například investičních projektů nebo firem, která je odvozená z finančních opcí. Uplatňuje se v prostředí s vysokou volatilitou anebo k zachování flexibility budoucího jednání.

Middleware - programové vybavení, které propojuje různý software, komponenty a podnikové aplikace. Je to v podstatě úroveň, která se nachází mezi programem (aplikací) a operačním systémem.

Myšlenková mapa - grafické uspořádání klíčových slov, doplněné obrázky, které vyznačují vzájemné vztahy a souvislosti.

Náklad – z finančního pohledu se jedná o úbytek ekonomického prospěchu, který se projevuje poklesem aktiv nebo přírůstkem dluhů a který vede v rozhodném období ke snížení vlastního kapitálu, avšak v budoucím období je předpokládáno dosažení ekonomického prospěchu. Z pohledu manažerského účetnictví je za náklad považováno účelové vynaložení ekonomických zdrojů podniku, které účelově souvisí s jeho ekonomickou činností a splňuje dvě základní podmínky: účelnost a účelový charakter.

Neinvestiční (provozní) náklady - celkové náklady na zajištění běžné podnikatelské činnosti.

Nejistota - stav, kdy subjekt nezná všechny možné důsledky svého rozhodnutí nebo nezná pravděpodobnosti toho, že nastanou.

NIST (National Institute of Standards and Technology) - Národní institut standardů a technologie. Jedná se o laboratoř měřicích standardů při ministerstvu obchodu USA. Cílem instituce je podpora inovací a průmyslové konkurenceschopnosti USA zlepšováním vědeckých měření, standardů a technologie s ohledem na ekonomickou bezpečnost a zlepšování kvality života.

NPV (Net Present Value, čistá současná hodnota) - veličina, vyjadřující celkovou současnou (tj. diskontovanou) hodnotu všech peněžních toků, souvisejících s investičním projektem.

On-premise - infrastrukturní model, kdy je veškerý HW a SW nainstalovaný v sídle společnosti a většinou i v jeho vlastnictví.

Opce - smlouva mezi prodávajícím a kupujícím, která dává kupujícímu právo (neukládá mu však povinnost) prodat nebo koupit od prodávajícího konkrétní aktivum za konkrétní cenu kdykoliv až do data vypršení kontraktu.

Opce s ohlédnutím se zpět (Lookback option) – opce, u které je realizační cena nahrazena minimem nebo maximem z hodnot, které podkladové aktivum nabývalo během životnosti opce nebo její části.

Opce s pamětí (Hard Path-Dependent, Path-Dependent Option with Strong Memory) – pro výpočet hodnoty opce je nutné znát průběh historických hodnot podkladového aktiva.

Opční prémie – částka uhrazená za sjednání opce.

OPEX - Operating Expenditures (provozní, neinvestiční náklady).

Out of the Money (mimo peníze) - stav, při kterém v případě kupní opce expirační cena převyšuje aktuální spotovou a v případě prodejní opce aktuální spotová cena převyšuje expirační.

Pascalův trojúhelník - geometrické uspořádání binomických koeficientů do tvaru trojúhelníku.

Payback Period (doba návratnosti) - doba, za kterou peněžní příjmy z investice vyrovnají počáteční kapitálový výdaj na investici.

PI (Profitability Index, index ziskovosti) - poměr přínosů a počátečních kapitálových výdajů.

PaaS (Platform-as-a-Service) - úplné prostředí pro vývoj a nasazení v cloudu, které poskytuje prostředky umožňující dodat cokoli od jednoduchých aplikací po propracované podnikové aplikace s podporou Cloud Computingu.

Pay-as-you-go - cenový tarif založený na principu „kolik toho uživatel spotřebuje, tolik zaplatí“.

Podkladové aktivum – aktivu, od kterého je odvozena opce, respektive, o jehož termínovaný nákup či prodej se jedná.

Podniková strategie - strategický plán organizace, který definuje cíle a způsoby jejich dosažení.

Prodejní opce (Put Option) - právo majitele opce prodat podkladové aktivum za dohodnutou cenu.

Příjem – finanční plnění za prodané produkty v podobě příjmu finančních prostředků do pokladny nebo na bankovní účet.

Průmysl 4.0 - 4. průmyslová revoluce, která zahrnuje kompletní digitalizaci, robotizaci a automatizaci většiny současných lidských činností pro zajištění větší rychlosti a efektivity výroby přesnějších, osobitějších, spolehlivějších a levnějších produktů, současně pro efektivnější využití materiálů a ekologičtějšímu průmyslu i lidskému životu.

QoS (Quality of Service, kvalita poskytovaných služeb) – garance kvality poskytovaných služeb podle definovaných kritérií.

Reálná opce – viz Metoda Reálných opcí.

RFID (Radio Frequency Identification, identifikace na rádiové frekvenci) - metoda automatické identifikace, založená na rádiové komunikaci mezi čtečkou a identifikačním prvkem.

ROA (Real Options Analysis) – hodnocení investic pomocí metody Reálných opcí.

ROI (Return on Investment, návratnost investice) – metoda hodnocení návratnosti investice, založená na poměru výnosů a nákladů.

SOA (Service-Oriented Architecture, architektura orientovaná na služby) - sada principů a metodologií, která doporučuje skládat složité aplikace a jiné systémy ze skupiny na sobě nezávislých komponent poskytujících služby.

SaaS (Software-as-a-Service) - způsob poskytování licencí software, při kterém zákazník nekupuje licenci software, ale používá jej formou služby. Zjednodušeně jde o pronájem software.

SLA (Service Level Agreement) - dohoda o úrovni poskytovaných služeb. Představuje formalizovaný popis služby, kterou poskytuje dodavatel zákazníkovi. Definuje rozsah, úroveň a kvalitu služby.

Smart Grid - inteligentní, samočinně se regulující elektrická síť, schopná přenášet vyrobenou energii z jakéhokoli zdroje centralizované i decentralizované výroby elektrické energie až ke koncovému zákazníkovi.

Spotová (současná, aktuální) cena – současná cena podkladového aktiva.

Start-up - firma, která se snaží přinést inovaci, pokusit se učinit svět lepším a vytvořit něco smysluplného.

Stínové IT - Veškerý hardware, software a jiná řešení, používaná zaměstnanci ve firemním informačním ekosystému bez souhlasu a vědomí IT oddělení.

Systémový architekt – osoba, která vytváří design / architekturu IT systému a nachází optimální řešení mezi business potřebami a technologickými omezeními. Sleduje technologický vývoj a navrhuje řešení. Zabývá se detailní technickou architekturou.

TCO (Total Cost of Ownership, celkové náklady na vlastnictví) - metoda hodnocení nákladových variant investice.

TVO (Total Value of Ownership, celková hodnota vlastnictví) – metoda hodnocení investice, založená na porovnání rozdílů výnosů a nákladů.

Utilita – síťová služba, která je dodávána velkému počtu zákazníků prostřednictvím rozsáhlé infrastruktury na velkém území. Hlavními představiteli jsou elektrická energie, voda, teplo, plyn a telekomunikační služby.

Virtualizace - postupy a techniky, které umožňují v počítačovém prostředí přistupovat k dostupným zdrojům jiným způsobem, než jakým fyzicky existují, jsou propojeny atd.

Vnitřní hodnota opce (Intrinsic Value) - rozdíl mezi spotovou (aktuální) a expirační (strike) cenou podkladového aktiva.

Výdaj – úbytek majetku bez vazby na konkrétní výkony.

Výnos – finanční ohodnocení výkonů, organizace získala z veškerých svých činností za určité období bez ohledu na to, zda došlo k jejich úhradě.

Volatilita - míra kolísání hodnoty aktiva nebo jeho výnosové míry. Obvykle se vyjadřuje jako směrodatná odchylka těchto změn během určitého časového úseku.

WACC (Weighted Average Cost of Capital) – vážený průměr nákladů podniku na použité zdroje podniku v procentech.

Životnost - vlastnost předmětu, která označuje, jak dlouho si předmět udrží své původní, nebo téměř původní vlastnosti.

Seznam tabulek

Tabulka 1. Výstupy porovnání metod finančního hodnocení investic [zdroj: vlastní]... 41	41
Tabulka 2. Vliv vstupních faktorů na hodnotu opce [zdroj: [59]]. 52	52
Tabulka 3. Rozdělení hodnot volatility [zdroj: [34]]. 60	60
Tabulka 4. Typy Reálných opcí a jejich praktické využití [zdroj: [vlastní]]. 64	64
Tabulka 5. Mapování parametrů finančních opcí na Reálné opce [zdroj: [34]]. 65	65
Tabulka 6. Význam změn hodnot Cloud Computingu bez počátečních hodnot [zdroj: vlastní]. 97	97
Tabulka 7. Význam změn hodnot on-premise bez počátečních hodnot [zdroj: vlastní]. 99	99
Tabulka 8. Sloučené změny bez počátečních hodnot [zdroj: vlastní]. 100	100
Tabulka 9. Ukázka výpočtu nákladů na výpočetní výkon [zdroj: vlastní]. 112	112
Tabulka 10. Hodnoty pro změnu volatility bez počáteční investice [zdroj: [116]]. 119	119
Tabulka 11. Hodnoty pro změnu délky projektu bez počáteční investice [zdroj: [116]]. 120	120
Tabulka 12. Hodnoty pro změnu plateb bez počáteční investice [zdroj: [116]]. 120	120
Tabulka 13. Hodnoty změn Cloud Computingu bez počáteční investice [zdroj: [116]]. 121	121
Tabulka 14. Hodnoty pro započítanou korekci při nezapočítané počáteční investici [zdroj: [116]]. 122	122
Tabulka 15. Hodnoty pro změnu volatility se započítanou počáteční investicí [zdroj: [91]]. 123	123
Tabulka 16. Hodnoty pro změnu délky projektu se započítanou počáteční investicí [zdroj: [91]]. 124	124
Tabulka 17. Hodnoty pro změnu plateb se započítanou počáteční investicí [zdroj: [91]]. 125	125
Tabulka 18. Hodnoty změn Cloud Computingu se započítanou počáteční investicí [zdroj: [91]]. 126	126

Seznam obrázků

Obrázek 1. Model 5-4-3 společnosti NIST [zdroj: [13]].	11
Obrázek 2. Model služeb Cloud Computingu [zdroj: [14]].	12
Obrázek 3. Referenční model architektury dle NIST [zdroj: [15]].	15
Obrázek 4. Mapa výhod a nevýhod Cloud Computingu [zdroj:].	17
Obrázek 5. Hierarchie strategií [zdroj: vlastní].	21
Obrázek 6. Vazby mezi byznys a IT strategiemi [zdroj: [30]].	23
Obrázek 7. Tradiční model IT infrastruktury [zdroj: [29]].	24
Obrázek 8. Model technologické transformace [zdroj: [30]].	25
Obrázek 9. IT jako poskytovatel konkurenční výhody [zdroj: [30]].	26
Obrázek 10. IT jako garant kvality služeb [zdroj: [30]].	27
Obrázek 11. Ukazatelé hodnocení přínosů IT v rámci České republiky [zdroj: [38]].	33
Obrázek 12. Finanční metody, používané finančními řediteli [zdroj: [39]].	35
Obrázek 13. Finanční metody, používané řediteli IT oddělení [zdroj: [39]].	36
Obrázek 14. Konfigurace Cloud Computingu Microsoft Azure [zdroj: [52]].	42
Obrázek 15. Konfigurace on-premise Microsoft Azure [zdroj: [52]].	43
Obrázek 16. Výstupy konfigurátoru Microsoft Azure [zdroj: [52]].	44
Obrázek 17. Datacenter Costs Microsoft Azure [zdroj: [52]].	45
Obrázek 18. Konfigurace Cloud Computingu Amazon AWS [zdroj: [53]].	46
Obrázek 19. Konfigurace Cloud Computingu Forpsi Internet CZ [zdroj: [54]].	47
Obrázek 20. Ukázka tvorby rekombinačního binomického stromu [zdroj: [64]].	54
Obrázek 21. Ukázka nerekombinačního binomického stromu [zdroj: [64]].	55
Obrázek 22. Výpočet vnitřní hodnoty kupní opce pro tři období [zdroj: [66]].	56
Obrázek 23. Výpočet hodnoty americké kupní opce pro tři období [zdroj: [66]].	57
Obrázek 24. Závislost volatility na životním cyklu organizace [zdroj: [31]].	59
Obrázek 25. Metody stanovení volatility [zdroj: [34]].	61
Obrázek 26. Základní dělení opcí dle Trigeorgise [zdroj:[78]].	62
Obrázek 27. Počty dokumentů s tematikou Cloud Computingu [zdroj: [91]].	70
Obrázek 28. Průnik optimistického a pesimistického očekávání [zdroj: [108]].	74
Obrázek 29. Fáze vývoje a nasazení produktu [zdroj: vlastní].	77
Obrázek 30. Změny požadavků trhu [zdroj: [66]].	81
Obrázek 31. Obecná agilita organizace spojená s růstem požadavků [zdroj: vlastní].	82
Obrázek 32. Obecná agilita organizace spojená s poklesem požadavků [zdroj: vlastní].	84
Obrázek 33. Flexibilita on-premise infrastruktury [zdroj: vlastní].	85
Obrázek 34. Flexibilita Cloud Computingu [zdroj: vlastní].	86
Obrázek 35. Pokles / nárůst požadavků [zdroj: vlastní].	89
Obrázek 36. Změny požadavků v rámci stejné oblasti binomického stromu [zdroj: vlastní].	90
Obrázek 37. Změny požadavků přes různé oblasti binomického stromu [zdroj: vlastní].	91
Obrázek 38. Vnitřní hodnota uzlu binomického stromu [zdroj: vlastní].	92
Obrázek 39. Změny hodnot Cloud Computingu bez počátečních hodnot [zdroj: vlastní].	97
Obrázek 40. Změny hodnot on-premise bez počátečních hodnot [zdroj: vlastní].	98
Obrázek 41. Sloučení binomických stromů bez počátečních hodnot [zdroj: vlastní].	99
Obrázek 42. Substituce vnitřních hodnot uzlů binomického stromu [zdroj: vlastní].	101
Obrázek 43. Rozvoj hodnot Cloud Computingu s počátečními hodnotami [zdroj: vlastní].	102

Obrázek 44. Rozvoj hodnot on-premise s počátečními hodnotami [zdroj: vlastní].	102
Obrázek 45. Sloučení binomických stromů s počátečními hodnotami [zdroj: vlastní].	103
Obrázek 46. Korekce výpočtu on-premise [zdroj: vlastní].	104
Obrázek 47. Ukázka korekce vnitřní hodnoty uzlu binomického stromu [zdroj: vlastní].	106
Obrázek 48. Korekce on-premise v případě platby na začátku období [zdroj: vlastní].	107
Obrázek 49. Příklad navázaných binomických stromů [zdroj: vlastní].	108
Obrázek 50. On-premise infrastruktura [zdroj: vlastní].	109
Obrázek 51. Cloud Computing infrastruktura [zdroj: vlastní].	110
Obrázek 52. Stanovení výpočetního výkonu [zdroj: vlastní].	112
Obrázek 53. Zjednodušená datová reprezentace uzlu binomického stromu [zdroj: vlastní].	113

Zkrácený obsah

1 Úvod.....	1
2 IT infrastruktura a Cloud Computing.....	7
3 Plánování IT infrastruktury	21
4 Hodnocení investic.....	29
5 Finanční metody hodnocení investic.....	35
6 Reálné opce	49
7 Rešerše využití Reálných opcí v Cloud Computingu.....	67
8 Praktické ověření obecných možností metody Reálných opcí.....	73
9 Vstupní předpoklady návrhu nové metody hodnocení flexibility	77
10 Nejistoty, agilita a flexibilita v praxi.....	81
11 Návrh metody finančního hodnocení flexibility Cloud Computingu.....	89
12 Ověření navržených variant metody výpočtu flexibility	115
13 Závěr	129
14 Použitá literatura	133
15 Přílohy.....	143

Obsah

1 Úvod.....	1
1.1 Cíle disertační práce.....	2
1.2 Hypotéza a výzkumné otázky disertační práce	3
1.3 Struktura a metody disertační práce.....	3
2 IT infrastruktura a Cloud Computing.....	7
2.1 IT infrastruktura	8
2.2 Definice Cloud Computingu	9
2.2.1 Základní charakteristiky Cloud Computingu	11
2.2.2 Modely služeb	12
2.2.3 Modely nasazení	13
2.3 Referenční model architektury	14
2.4 Cloud Computing v praxi.....	16
2.5 Zhodnocení Cloud Computingu.....	20
3 Plánování IT infrastruktury	21
3.1 Vazba mezi byznys a IT strategií	22
3.1.1 Tradiční model IT infrastruktury	23
3.1.2 Model technologické transformace	24
3.1.3 IT jako poskytovatel konkurenční výhody.....	25
3.1.4 IT jako garant kvality služeb.....	26
3.2 Nejistoty plánování IT infrastruktury.....	27
3.3 Agilita IT infrastruktury.....	28
3.4 Zhodnocení plánování IT infrastruktury	28
4 Hodnocení investic.....	29
4.1 Definice investice.....	29
4.2 Strategie investování	30
4.3 Realizace investice	30
4.4 Vstupy investičního projektu	31
4.4.1 Životnost projektu	31
4.4.2 Náklady projektu.....	31
4.4.3 Výnosy projektu.....	32
4.4.4 Časová hodnota peněz.....	32
4.4.5 Flexibilita projektu	32
4.5 IT investice.....	32
4.6 Zhodnocení problematiky investic.....	34
5 Finanční metody hodnocení investic.....	35
5.1 Definice základních ekonomických pojmů.....	36
5.2 Rozdělení metod finančního hodnocení investic	37
5.2.1 Payback Period.....	37
5.2.2 Return on Investment	37
5.2.3 Total Cost of Ownership	38
5.2.4 Total Value of Ownership.....	38
5.2.5 Diskontní míra.....	38
5.2.6 Net Present Value.....	39
5.2.7 Internal Rate of Return.....	39
5.2.8 Profitability Index	40
5.2.9 Další metody hodnocení investic	40
5.3 Srovnání metod hodnocení investic	40
5.4 Praktické využití metod finančního hodnocení Cloud Computingu	41
6 Reálné opce	49
6.1 Finanční opce	49
6.1.1 Dělení finančních opcí	50
6.1.2 Hodnota (cena) opce	50
6.1.3 Vnitřní hodnot opce	51

6.1.4 Časová hodnota opce	51
6.1.5 Parametry ovlivňující hodnotu (cenu) opce	51
6.1.6 Volatilita podkladového aktiva	52
6.1.7 Black-Scholesův model.....	52
6.1.8 Binomický model.....	54
6.1.9 Exotické typy finančních opcí.....	57
6.2 Reálné opce.....	58
6.2.1 Flexibilita, volatilita, nejistoty	58
6.2.2 Metody stanovení hodnoty volatility	60
6.2.3 Možnosti dělení Reálných opcí.....	61
6.2.4 Přiřazení opčních typů Reálným opcím	64
6.2.5 Výpočet hodnoty Reálných opcí	65
6.3 Zhodnocení Reálných opcí.....	66
7 Rešerše využití Reálných opcí v Cloud Computingu.....	67
7.1 Cloud Computingu a Reálné opce do roku 2010	67
7.2 Cloud Computing a Reálné opce po roce 2010.....	68
7.2.1 Předmět provedené rešerše.....	68
7.2.2 Metodika provedení rešerše	68
7.2.3 Statistická analýza výstupů provedené rešerše.....	69
7.2.4 Analýza obsahu výstupů provedené rešerše.....	70
7.2.5 Celkové vyhodnocení provedené rešerše	71
7.3 Zhodnocení Reálných opcí.....	72
8 Praktické ověření obecných možností metody Reálných opcí.....	73
9 Vstupní předpoklady návrhu nové metody hodnocení flexibility	77
10 Nejistoty, agilita a flexibilita v praxi.....	81
10.1 Obecná agilita organizace	81
10.2 Flexibilita on-premise infrastruktury	84
10.3 Flexibilita Cloud Computingu.....	86
10.4 Vyhodnocení flexibility technologií	87
11 Návrh metody finančního hodnocení flexibility Cloud Computingu.....	89
11.1 Reprezentace flexibility pomocí binomického stromu.....	89
11.2 Vyčíslení flexibility binomického stromu.....	91
11.2.1 Přiřazení hodnot přechodům binomického stromu	92
11.2.2 Platby za výpočetní výkon, annuita	94
11.2.3 Varianta bez zahrnutí počáteční investice do výpočtu	96
11.2.4 Varianta se zahrnutím počáteční investice do výpočtu	101
11.3 Životnost projektu a korekce výpočtu	103
11.4 Vstupní hodnoty výpočtu	109
11.4.1 Infrastruktura a výpočetní výkon	109
11.4.2 Stanovení výpočetního výkonu	111
11.4.3 Možnosti optimalizace variant navržené metody	113
12 Ověření navržených variant metody výpočtu flexibility.....	115
12.1 Definice scénářů ověření.....	115
12.2 Ověření metody bez počáteční investice.....	118
12.2.1 Scénář 1 – změna volatility	119
12.2.2 Scénář 2 – různé délky projektu a počty období	119
12.2.3 Scénář 3 – nepravidelné navýšování výkonu	120
12.2.4 Scénář 4 – navýšení nákladů Cloud Computingu	121
12.2.5 Scénář 5 – korekce životnosti on-premise infrastruktury.....	122
12.3 Ověření metody s počáteční investicí	123
12.3.1 Scénář 1 – změna volatility	123
12.3.2 Scénář 2 – různé délky projektu a počty období	124
12.3.3 Scénář 3 – nepravidelné navýšování výkonu	124
12.3.4 Scénář 4 – navýšení nákladů Cloud Computingu	126
12.4 Vyhodnocení ověření navržených metod hodnocení flexibility.....	126

13 Závěr	129
13.1 Vyhodnocení výzkumných otázek a stanovené hypotézy	129
13.2 Zhodnocení cílů práce	130
13.3 Možnosti další výzkumné práce v této oblasti	131
14 Použitá literatura	133
15 Přílohy	143
15.1 Příloha A – Dokumenty analyzované v rámci provedené rešerše.....	143
15.2 Příloha B – Výpočet hodnoty flexibility	145
15.3 Seznam publikací autora	147
15.3.1 Publikace vztahující se k tématu této práce	147
15.3.2 Ostatní publikace.....	147

1 Úvod

Sdílení zdrojů mezi více konzumenty, a tím pádem i ve většině případů jejich efektivnější využívání, je fenoménem, který historicky prorůstá různými odvětvími průmyslu. Doba, kdy si každý vše pořizoval, budoval, vyráběl a obsluhoval sám, je až na výjimky pryč. S rozvojem technologií a rostoucí se globalizací se jak firmy, tak i jednotlivci, čím dál tím více specializují jen na činnosti, které jsou jim vlastní, tvoří jejich konkurenční výhodu vůči ostatním a vše ostatní se snaží přesunout na třetí strany.

Typickým příkladem sdílení zdrojů je segment „utilit“, v rámci kterého se konzumenti napojují do energetických nebo vodovodních sítí, plynových rozvodů, popřípadě komunikují prostřednictvím sítí telekomunikačních operátorů. V rámci tohoto napojení společně sdílí kapacity výrobců a distributorů „utilit.“ To umožňuje minimalizovat úvodní investice do podpůrných prostředků, které jsou důležité pro fungování, ale nejsou přídavnou hodnotou. Zkonzumované prostředky jsou pak obvykle účtovány a placeny v pravidelných intervalech ve výši, která odpovídá spotřebované kapacitě zdrojů za dané období a mimo jiné zahrnuje i náklady na provoz sdílených zdrojů.

Výrobci a distributoři „utilit“ do zdrojů, na rozdíl od konzumentů, vkládají vysoké počáteční investice, protože jejich poskytování, včetně průběžné údržby, je jejich konkurenční výhodou. Prodej kapacit většímu množství konzumentů zvyšuje efektivitu využití zdrojů, snižuje riziko závislosti na malém počtu konzumentů a také umožňuje konzumentům účtovat pro ně přijatelné ceny.

Popsaný způsob poskytování „utilit“ je v dnešní době samozřejmostí a téměř nikoho nenapadne nad ním přemýšlet. Až na diskusi o cenách, které se mění dle aktuální situace trhu a případné regulace, se na principech fungování nic nemění. Zajímavé je ale sledovat, jak se principem segmentu „utilit“ inspirovali nebo sebe sama nazývají „utilitami“ další technologické a netechnologické oblasti. Asi nejvýraznější z nich je v poslední době poskytování IT služeb, nazývaných *Cloud Computing*.

První úvahy o vytvoření nového obchodního modelu, založeného na poskytování výpočetního výkonu formou služby se objevily již v šedesátých letech dvacátého století, kdy byl spojený výpočetní výkon přirovnáván k rozvodům elektrické energie [1]. Tehdejší stav IT technologií, především komunikačních sítí, ale nebyl na takové úrovni, aby bylo možné jej, až na omezené výjimky (uzavřené univerzitní a vojenské sítě), realizovat. K oživení myšlenky poskytování sdíleného výpočetního výkonu velkému množství uživatelů dochází s rozvojem vysokorychlostního internetu v devadesátých letech dvacátého století. Je definován pojem *Cloud Computing* [2] a na přelomu století se začínají objevovat první aplikace, sdílené přes internetové stránky. Od té doby význam a využití *Cloud Computingu* strmě roste a samotný *Cloud Computing* je akcelerátorem rozvoje dalších oblastí jako je průmysl 4.0 a Internet věcí (Internet of Things, zkráceně IoT) [3].

Díky možnosti samoobslužné konfigurace uživatelem a placení jen za spotřebovaný výkon, se o *Cloud Computingu* někdy mluví jako o *páté utilitě* [4]. Nízké nebo téměř nulové počáteční investice umožňují čím dál většímu počtu uživatelů využívat aplikace a služby, které by si v případě vlastního *on-premise* provozu nemohli dovolit. Poskytovatelé zase budují robustní infrastrukturu, kterou jsou díky dopadům globalizace schopni nabízet nejen v místě svého působení, ale celosvětově.

Otázkou, spojenou s budováním, provozováním a využíváním služeb *Cloud Computingu*, je ekonomická (ne)výhodnost služby. Podobně, jako u ostatních „utilit“, je zalo-

žena především na srovnání celkových nákladů na pořízení a provoz, měřených prostřednictvím ukazatele *TCO* (*celkové náklady na vlastnictví*). Ten v sobě zahrnuje veškeré náklady jak na pořízení, tak i na provoz za určité období. Poskytovatelé služeb pro tyto účely nabízejí celou řadu *TCO* kalkulátorů, na kterých srovnávají ekonomickou výhodnost využívání *Cloud Computingu* vůči *on-premise* řešení. Slabou stránkou těchto výpočtů je ale skutečnost, že v sobě nezahrnují *flexibilitu*, která je u *Cloud Computingu*, na rozdíl od *on-premise* řešení, jednou z klíčových vlastností.

Možnost navyšovat nebo ponížovat konzumovaný výkon způsobuje, že ceny, které se platí za jeho využívání, nemusí být v různých obdobích stejné, což ve svém důsledku znamená, že porovnání a výpočty, založené jen na ukazateli *TCO* nejsou úplné a v některých případech mohou být dokonce zkreslené. Tato disertační práce se zabývá možností využití metody *Reálných opcí* pro výpočet *flexibility Cloud Computingu* vzhledem k *on-premise* řešení, na jejímž základě může být vyhodnocena (ne)výhodnost využití *Cloud Computingu* v prostředí dynamicky se měnícího okolí.

Myšlenka využití metody *Reálných opcí* vychází ze spoluúčasti autora práce na realizaci grantového projektu TA01010784 – „Využití výpočetního výkonu cloud technologie pro zpracování inteligentních elektronických formulářů,“ vypsáno v rámci programu TAČR – Alfa a realizovaného ve spolupráci se společností Software602 a. s. v letech 2011 - 2013. Jednou z částí projektu bylo i ekonomické hodnocení navrženého řešení, které ukázalo, že standardní metody pro hodnocení investic nejsou v oblasti *Cloud Computingu* schopny zahrnout do výpočtu všechny parametry služby, především zmiňovanou *flexibilitu*.

Základem této disertační práce je hypotéza, že metoda *Reálných opcí* je vhodným nástrojem pro hodnocení investic v oblasti IT služeb, konkrétně *Cloud Computingu*. Aby bylo možné rozhodnout o platnosti této hypotézy, bylo nutné nejprve provést řadu analýz, které vycházely z dostupné literatury a existujících zdrojů. Před přistoupením k výzkumným činnostem autor stanovil cíle práce, které jsou uvedeny v kapitole 1.1. V rámci stanovených cílů byly definovány tři výzkumné otázky, popsané v kapitole 1.2. Struktura a použité výzkumné metody práce jsou popsány v kapitole 1.3.

1.1 Cíle disertační práce

Výchozím cílem práce bylo provést analýzu vhodnosti použití metody *Reálných opcí* v prostředí *IT technologií*, konkrétně *Cloud Computingu*, a navrhnout způsob jejího praktického použití. Pro tyto účely byly formulovány dvě výchozí výzkumné otázky: „Je metoda *Reálných opcí* využitelná pro hodnocení investic do *Cloud Computingu*?“ a „Jaká je přidaná hodnota metody *Reálných opcí* vůči ostatním metodám hodnocení a proč je vhodné ji pro finanční hodnocení investic do *Cloud Computingu* použít?“ Naplnění cíle bylo rozděleno do tří dílčích cílů:

1. **Analýza vlastností *Cloud Computingu*** – v rámci tohoto cíle byl definován pojem *Cloud Computing* a jeho klíčové vlastnosti, které z něj dělají novou „utilitu“.
2. **Analýza metody *Reálných opcí*** – v tomto cíli byla analyzována metoda *Reálných opcí* a provedeno její provázání s technologií *Cloud Computingu* prostřednictvím *flexibility* a *volatility*.
3. **Analýza využití metody *Reálných opcí* v *IT technologiích*** – tento cíl zahrnuje provedení analýzy existujícího využití metody v oblasti *IT technologií*.

Analýza byla provedena formou rešerše existující literatury a provedením vlastních experimentů obecné aplikace metody.

Po naplnění těchto dílčích cílů a zodpovězení prvních dvou výzkumných otázek byl výchozí, obecnější, cíl práce konkretizovaný a byla definována třetí výzkumná otázka: „Je možné nalezenou přidanou hodnotu metody z celkové vypočtené hodnoty Reálné opce získat a použít pro rozhodování o investici?“ Naplnění nově definovaného cíle bylo rozděleno do dvou dílčích cílů:

1. **Návrh metody hodnocení flexibility Cloud Computingu a on-premise řešení jako nástroje pro tvorbu strategie využití IT zdrojů** – klíčový cíl práce, v rámci kterého byla navržena metoda finančního hodnocení *flexibility* pomocí tvorby binomických stromů, používaných v metodě *Reálných opcí*.
2. **Ověření vytvořené metody na testovacích scénářích** – navazujícím cílem bylo ověření použitelnosti a přínosnosti nově vytvořené metody na různých praktických scénářích.

Na základě odpovědí na všechny položené výzkumné otázky bylo možné potvrdit / vyvrátit hypotézu, že metoda *Reálných opcí* je vhodným nástrojem pro hodnocení investic v oblasti IT služeb, konkrétně *Cloud Computingu*

1.2 Hypotéza a výzkumné otázky disertační práce

V předchozí kapitole 1.1 byly, s ohledem na cíle práce, definovány následující výzkumné otázky:

1. Je metoda Reálných opcí využitelná pro finanční hodnocení investic do Cloud Computingu?
2. Jaká je přidaná hodnota metody Reálných opcí vůči ostatním metodám hodnocení a proč je vhodné ji pro finanční hodnocení investic do Cloud Computingu použít?
3. Je možné nalezenou přidanou hodnotu metody z celkové vypočtené hodnoty Reálné opce získat a použít pro rozhodování o investici?

Odpověď na první dvě otázky je hledána především v části, zaměřené na analýzu aktuálního stavu. Na analýzu navazuje část návrhu a ověření nové metody, v rámci které je zodpovězena otázka třetí. V závěrečné kapitole je na základě odpovědí na výzkumné otázky provedeno vyhodnocení naplnění cílů disertační práce a potvrzena / vyvrácena hypotéza, že metoda *Reálných opcí* je vhodným nástrojem pro hodnocení investic v oblasti IT služeb, konkrétně *Cloud Computingu*.

1.3 Struktura a metody disertační práce

Disertační práce vychází z cílů, definovaných v kapitole 1.1 a její struktura je rozdělená do dvou větších, vzájemně provázaných částí. První, obecnější část, tvoří kapitoly 2 – 8, v rámci kterých jsou hledány odpovědi na první dvě výzkumné otázky. Výstupem je specifikace třetí výzkumné otázky a příprava teoretických základů pro vytvoření nové metody hodnocení investic. Metody vědecké práce, použité pro její vypracování, vycházejí z provedené odborné rešerše, zaměřené na propojení metody *Reálných opcí* a *IT technologií*. Konkrétně se aplikovaly metody analýzy a komparace dostupných informací a existujících teorií, ze kterých se formou induktivní syntézy definovaly požadavky na vytvoření nové metody.

První kapitulu tvoří tato úvodní část a jejím obsahem je představení prvotní motivace pro vznik práce, usazení do konkrétního reálného prostředí, stanovení jasných cílů a definice výzkumných otázek, které jsou v práci zkoumány a v závěru zodpovězeny. Součástí kapitoly je popis struktury práce a shrnutí kontextu jednotlivých kapitol.

Druhá kapitola obsahuje specifikaci pojmů *IT infrastruktura* a *Cloud Computing*. *Cloud Computing* je považován za podmnožinu *IT infrastruktury* a je alternativou k *on-premise* variantě, která je historicky nejvíce používaným způsobem realizace *IT infrastruktury*. Jsou krátce rozebrány různé definice *Cloud Computingu* a jeho klíčové vlastnosti, které definují jak výhody, tak i nevýhody využití této technologie. Nejsou detailněji rozebírány technologické detaily ani poskytovatelé *Cloud Computingu*, protože detailní znalost jejich nabídky není pro tuto práci důležitá. Zdůrazněna je klíčová myšlenka *Cloud Computing*, kterou představuje *flexibilita* a škálovatelnost. Ta je také základem této disertační práce.

Ve třetí kapitole je definován pojem „*strategie*“ a je podrobněji rozebrána vazba mezi byznys a IT strategií. Důvodem je skutečnost, že cílem práce je vytvořit a ověřit metodu pro finanční hodnocení investice do *Cloud Computingu* a *on-premise infrastruktury*, založenou na byznys požadavcích na výpočetní kapacitu, které vždy vycházejí z požadavků organizace na IT podporu. Bez znalostí těchto požadavků není možné naplánovat a provozovat žádnou *IT infrastrukturu*, respektive je vysoce pravděpodobné, že jak její pořízení, tak i provoz budou velmi neefektivní. V kapitole jsou rozebrány možné vazby mezi strategiemi a vliv *Cloud Computingu* na tyto vazby. V závěru kapitoly je popsán pojem „*agilita*“, který je pojítkem mezi *Cloud Computingem* a metodou *Reálných opcí*.

Čtvrtá kapitola v krátkosti rozebírá problematiku investic a způsobů jejich hodnocení, protože jak pořízení *Cloud Computingu*, tak i vybudování *on-premise infrastruktury* jsou investičním projektem. V praxi se často provádí rozhodnutí, kterou z těchto variant *IT infrastruktury* realizovat v konkrétní organizaci, která může mít jiné požadavky než ostatní, z čehož vyplývá, že pro ni může být výhodnější odlišná varianta, než ta, která již byla použita jinde. Nelze tedy jednoznačně konstatovat, že jedna varianta je výhodnější než druhá, ale je nutné mít metodu, která v návaznosti na byznys strategii obě varianty porovná. Na vedení organizace je, aby na základě výstupů hodnocení jednu z variant vybralo. Práce se v dalších částech omezuje na ekonomické hodnocení investic, proto kapitola ve druhé části obsahuje specifikaci vstupních parametrů, které do tohoto typu hodnocení vstupují. V závěru jsou shrnuty běžně používané způsoby hodnocení IT investic.

V páté kapitole jsou krátce popsány vybrané metody finančního hodnocení, které se pro ekonomické hodnocení investic, jak potvrzují průzkumy, uvedené v úvodu kapitoly, nejčastěji používají. Zmíněny jsou jednoduché statické a dynamické metody. V závěru je provedeno jejich vyhodnocení z pohledu použitých vstupních parametrů, definovaných ve čtvrté kapitole. Cílem kapitoly je především poukázat na existující přístupy k hodnocení a způsoby použití vstupních parametrů pro stanovení hodnoty investice. Komplexnější metody, založené na vícekritériálním hodnocení, jsou zmíněny jen krátce, protože jsou nad rámec této disertační práce a pro její vypracování nejsou důležité. V závěru kapitoly jsou uvedeny příklady metod, včetně existujících konfiguratorů, které v praxi používají poskytovatelé *Cloud Computingových* služeb pro porovnání nákladů *Cloud Computingu* a *on-premise infrastruktury*.

Šestá kapitola se detailně věnuje metodě *Reálných opcí*, která byla vyjmuta ze seznamu metod, popsaných v kapitole pět. Důvodem je skutečnost, že je základem nové metody, navržené a ověřené ve druhé části této disertační práce. Kapitola je rozdělena do dvou větších podkapitol. V první jsou popsány finanční *opce* jako základ pro obecné

pochopení problematiky *opcí*, která je následně překlomena do *Reálných opcí*, popsaných ve druhé podkapitole. Je poukázáno na výhody metody oproti ostatním metodám hodnocení investic a je popsáno, jakým způsobem metodu pro vyčíslení hodnoty investice použít. Zdůrazněna je schopnost použít pro výpočet vstupní parametr *flexibility (agility)*, který ostatní metody do výpočtu nezahrnují. Diskutuje se problematika stanovení vstupních hodnot a jsou detailně popsány dva modely pro vyčíslení hodnoty *Reálné opce*, která reprezentuje hodnotu investice. V závěru jsou *Reálné opce* rozděleny do typů podle způsobů uplatnění a je popsáno, jakým způsobem opce použít v případě *Cloud Computingu* a *on-premise infrastruktury*.

Sedmá kapitola obsahuje výstupy provedené rešerše existujících dokumentů, popisujících provázání *Cloud Computingu* a metody *Reálných opcí*. Výstupy rešerše byly základem pro shrnutí známých faktů a jako zdroj inspirace pro část návrhu nové metody. Rešerše je rozdělena do dvou podkapitol. V první podkapitole jsou v krátkosti shrnuty výstupy, spojené s odbornou studií autora této disertační práce a obsahuje dokumenty, nalezené do roku 2010. Ve druhé části je popsána detailní rešerše, provedená na začátku roku 2017, jejímž smyslem bylo povést aktualizaci stavu a rozšířit rešerši o požadavky, které vzešly z návrhu nové metody. Jednalo se především o oblast exotických opcí s pamětí. Výstupy rešerše potvrdily, že metoda se sice v praxi používá, ale jen omezeným způsobem. Hodnocení *flexibility*, jako klíčového pojmu, spojeného s *agilitou*, definovanou ve třetí kapitole, je jen na obecné úrovni a přidaná hodnota použití metody je téměř nulová. Tím byla potvrzena smysluplnost této práce.

Osmá, poslední kapitola obecné části, navazuje na předchozí kapitoly analýzou výsledků, autorem práce provedených, praktických experimentů aplikace obecné metody *Reálných opcí* na vybraných příkladech. Cíle experimentů byla dva a měly položit základ pro druhou část této disertační práce. Prvním cílem bylo vytvořit obecný framework, který by metodu *Reálných opcí* umožnil použít i zájemcům bez hlubších ekonomických znalostí. Tento záměr se povedlo naplnit jen částečně. Framework vznikl, ale je na takové úrovni složitosti, že především pro technicky zaměřené zájemce je jeho použití komplikované. Druhým cílem bylo nalézt přidanou hodnotu použití metody *Reálných opcí* vůči jiným metodám finančního hodnocení investic, popsaných v kapitole 5. Podobně, jako tomu bylo u výstupů rešerše, popsaných v kapitole 7, se ukázalo a potvrdilo, že přímá aplikace obecné metody sama o sobě větší přidanou hodnotu nepřináší. Respektive se ukázalo, že přidaná hodnota, kterou je ohodnocení *flexibility*, je ve výsledné hodnotě *opce* schovaná za hodnotou variability nákladů a nelze s ní přímo pracovat. Kapitola je uzavřena stanovením cíle pro druhou část disertační práce, kterou je návrh a ověření nové metody, samostatně finančně hodnotící *flexibilitu Cloud Computingu* prostřednictvím variability nákladů na principu metody *Reálných opcí*.

Druhou, na návrh nové metody zaměřenou část disertační práce, tvoří kapitoly 9 – 12. V rámci této části je hledána odpověď na třetí výzkumnou otázku. Výstupem je návrh nové metody hodnocení investic v oblasti *Cloud Computingu*, včetně jejího ověření na vybraných scénářích. Pro realizaci a formulaci závěrů byly použity vědecké metody, založené na analýze, indukci, syntéze, modelování a abstrakci zkoumané problematiky.

V deváté kapitole jsou shrnuty předpoklady, za kterých je nová metoda navržena. Vychází se z reálných vlastností *Cloud Computingu* a *on-premise infrastruktury*, aplikovaných na reálný provoz nové IT služby ve fázi produkce. Na devátou kapitolu úzce navazuje kapitola desátá, která rozebírá *flexibilitu* z pohledu *agility* organizace, provozující IT službu. Zatímco cílem deváté kapitoly bylo především definovat parametry, které bu-

dou vstupovat do výpočtu, desátá kapitola rozebírá dynamiku prostředí a organizace, s cílem poukázat na vhodnost použití metody *Reálných opcí* z pohledu nákladů na podpůrné složky, mezi které patří také *IT infrastruktura*.

Jedenáctá kapitola popisuje návrh dvou variant nové metody finančního hodnocení *flexibility*. Nejprve je provedeno mapování *agility* organizace na požadovanou *flexibilitu* podpůrné *IT infrastruktury* a je poukázáno na rozdíly mezi *on-premise infrastrukturou* a *Cloud Computingem*. Na základě rozdílů je provedena úvaha o možném vyčíslení *flexibility* formou porovnání změn v nákladech při reakci na různé reálné situace. Protože způsob vynaložení nákladů pro *on-premise infrastrukturu* je odlišný od *Cloud Computingu*, je nejprve prostřednictvím výpočtu anuity navržen způsob, jak platby za *on-premise infrastrukturu* přiblížit způsobu plateb za *Cloud Computing*. Následně je přistoupeno k návrhu dvou variant metody výpočtu *flexibility Cloud Computingu*. V první se počítá s tím, že výpočet finanční hodnoty *flexibility* bude oddělen od prvotní investice, která se porovná samostatně. Ve druhé se počítá i se započítáním prvotní investice. Poslední část kapitoly se věnuje možným korekcím, vyplývajícím ze životnosti komponent *on-premise infrastruktury*, které mohou výrazným způsobem ovlivnit výslednou vypočtenou hodnotu *flexibility*. Také je zmíněna problematika stanovení vstupních dat a krátce popsán algoritmus, který byl aplikován do pomocných nástrojů, vyvinutých a použitých pro ověření navržené metody.

Předposlední, dvanáctá kapitola, se věnuje ověření navržených variant metody na vybraných scénářích, vycházejících z obvyklých reálných situací. Celkem jsou navrženy a popsány čtyři různé scénáře, aplikované na obě varianty metody a jeden scénář, který byl samostatně aplikovaný jen pro variantu bez započtení prvotní investice. Tento scénář započítává korekce životnosti. Protože testy ukázaly, že korekce výrazně ovlivňují výslednou vypočtenou hodnotu *flexibility*, je korekce pro druhou z metod počítána samostatně, mimo *flexibilitu*. Součástí popisu scénářů je stanovení očekávaných výstupů a definice vstupních dat, použitých pro výpočty. Ve druhé části kapitoly jsou ve formě tabulek a doprovodných komentářů popsány výsledky testů a vyhodnoceno, zda došlo nebo nedošlo k naplnění očekávaných výstupů. Závěr kapitoly obsahuje shrnutí všech provedených experimentů a zobecňuje identifikované vlastnosti navržené metody, včetně jejich slabin a možných vylepšení.

V poslední, 13. kapitole, jsou shrnuty hlavní zjištění a přínosy práce. Jsou navrženy možnosti dalšího výzkumu a rozvoje nejen navržených variant metody, ale také přidružených oblastí, které byly při návrhu metody nově identifikovány. Krátce je také diskutována praktická použitelnost metody mimo oblast *Cloud Computingu*.

Poznámka. Vzhledem k tomu, že se v oblasti IT technologií obvykle používají anglické pojmy, které často nemají české ekvivalenty, nepokouší se autor o umělý překlad těchto pojmů, ale ponechává je v původní podobě. V případech, kdy je to autorem z hlediska porozumění textu považováno za podstatné nebo užitečné pro další studium, je použitý český překlad nebo je v poznámce pod čarou uvedený doplňující vysvětlující popis.

2 IT infrastruktura a Cloud Computing

Myšlenka Cloud Computingu není nová. S první vizí o propojitelnosti výpočetního výkonu a jeho dostupnosti odkudkoliv přišel již v roce 1960 Joseph Carl Robnett Licklider ve svém článku *Man-Computer Symbiosis* [5]. Přestože v článku pojem *Cloud Computing* nezmiňuje, principy sdílení výkonu a dat jsou obdobné těm dnešním. Druhou významnou osobností, která je s *Cloud Computingem* často spojována, je John McCarthy, který v roce 1961 připodobnil myšlenku sdíleného výpočetního výkonu k rozvodům energetické sítě, v rámci které mnoho domácností sdílí energii ze vzájemně propojených elektráren [6]. Pro tento obchodní model použil, vzhledem k podobnosti s energetikou, pojem *Utility Computing*, který byl v počátcích rozvoje používán i pro *Cloud Computing*.

Také technologický základ *Cloud Computingu* byl položen v šedesátých letech minulého století. Již, v té době používané, sálové počítače umožňovaly sdílet svou výpočetní kapacitu mezi více uživatelů formou virtualizace, která je v různých podobách používána dodnes. Sdílení bylo umožněno, díky neexistujícím veřejným komunikačním sítím, ve většině případů jen lokálním uživatelům. Omezené výpočetní možnosti počítačů pak předurčovaly využití výpočetního výkonu především na matematické a statistické výpočty, simulace, modelování a výzkumné aktivity. Tato omezení byla důvodem, že myšlenka masivně sdíleného výpočetního výkonu dočasně upadla v zapomnění.

Oživení nastává v devadesátých letech dvacátého století. Zatímco na poli technickém dochází k masivnímu rozvoji vysokorychlostního internetu, na poli politickém přichází s pádem berlínské zdi k výraznému uvolnění mezinárodních poměrů, které vede ke „zplošťování světa“, globalizaci a dostupnosti služeb po celém světě. Dopady této změny jsou často nazývány globalizací verze 2 a verze 3 [7]. V období devadesátých let se také poprvé objevuje pojem *Cloud Computing* v podobě, kterou známe a používáme dnes. Na své přednášce jej v roce 1997 použil Ramnath Chellappa [2]. Ten se inspiroval schematickými obrázky telekomunikačních sítí a do oblaku (*cloudu*) s nápisem internet, ke kterému se připojovaly koncové stanice, zakreslil infrastrukturu *Utility Computingu*. V rámci přednášky představil paradigma, ve kterém budou hranice výpočetní techniky stanoveny spíše ekonomickou výhodností než technickými limity. Jeho přednáška se dá považovat za zlomovou, protože následně po ní dochází postupem času ke standardizaci pojmu *Cloud Computing*, specifikaci jeho konceptu a klíčových vlastností.

S dalším technologickým rozvojem se objevují firmy, které začínají nabízet alternativu k do té doby standardním *on-premise* řešením. Ať již je to společnost Salesforce, která v roce 1999 představila podnikové aplikace, dostupné prostřednictvím webového prohlížeče nebo společnost Amazon se svou službou Amazon Web Service (rok 2002) a Amazon's Elastic Compute (rok 2006), čímž se i pro menší a střední společnosti stává dostupný výpočetní výkon s větší kapacitou za ceny, které jsou mnohonásobně nižší, než kdyby si celé řešení pořizovaly samy. Za zmínku také stojí společnost Google, která v roce 2006 představila službu Google Docs, čímž do prostoru Cloud Computingu přesunula běžné kancelářské aplikace a úložiště dat. S postupem času se nabídka Cloudových řešení začíná objevovat i u dalších společností. A to jak u velkých nadnárodních společností jako je Microsoft, Oracle, IBM, tak i menších lokálních, které jsou schopny budovat místní datová centra a sdílený výpočetní výkon poskytovat uživatelům po celém světě. Zvláštní kapitolu představuje možnost vybudování si vlastního, interního *cloudu*, kterou v některých případech vyžadují legislativní nebo segmentová omezení.

Vzhledem k tomu, že tato práce je založena na vlastnostech *Cloud Computingu*, které jsou základem propojení s metodou *Reálných opcí* a následně jsou také použity pro návrh

metody finančního hodnocení *flexibility*, je tato kapitola věnována definici pojmu *Cloud Computing* a popisu jeho klíčových vlastností. Smyslem kapitoly je především představit *Cloud Computing* na obecné úrovni. Nejsou v ní tedy podrobně popsáni poskytovatelé služeb a nabízené služby jako takové. Pro samotnou disertační práci to není důležité.

2.1 IT infrastruktura

Jak bylo naznačeno v úvodu kapitoly, myšlenka samotného *Cloud Computingu* je známá již dlouho. Ne každý je si ale vědom jeho pozice a role v organizaci, která jej využívá nebo plánuje využít. To v důsledku vede k chybným úvahám a rozhodnutím. Hned na začátku rozhodování o využití *Cloud Computingu* je proto důležité si uvědomit, že se jedná o podpůrný prostředek, který umožňuje za minimální prvotní investici nahradit část nebo dokonce celou *IT infrastrukturu* společnosti.

Za *IT infrastrukturu* považujeme veškeré technické i netechnické prostředky, které umožňují provozovat a poskytovat IT služby. Někdy je to několik počítačů, jindy zase jednoduchá nebo komplexní síť, včetně potřebného software a aplikací. Typické vlastnosti (parametry) jakékoliv infrastruktury v libovolné organizaci shrnul Peter Weill [8] následovně:

1. **Potřebnost** – základní vlastností infrastruktury je podpora procesů organizace a jejího fungování. Poskytuje organizaci konkurenční výhody. V dnešní době je infrastruktura nezbytnou součástí téměř každé organizace.
2. **Sdílení** – infrastruktura je sdílena různými částmi organizace a jejím úkolem je podpora většiny činností organizace.
3. **Dlouhodobost a budoucnost** – infrastruktura je pořizována za účelem využívání po celou dobu existence organizace a s ohledem na její budoucí rozvoj dle potřeb organizace.
4. **Nákladnost** – pořízení infrastruktury znamená investici. Na konkrétní organizaci a jejich potřebách je, kolik a do jaké infrastruktury investuje.
5. **Flexibilita** – od infrastruktury se očekává, že bude možné ji měnit podle potřeb a vývoje fungování organizace bez zbytečného navyšování nákladů.
6. **Konkurenční výhoda** – infrastruktura podporuje konkurenceschopnost prostřednictvím jednoduchých a rychlých reakcí na změny trhu a okolí organizace.
7. **Přesné informace** – umožňuje rychle a jednoduše získávat adekvátní informace pro podporu rozhodování.
8. **Snižování nákladů** – umožňuje automatizovat a zjednodušovat vybrané činnosti organizace a snižovat náklady na jejich provádění lidmi.
9. **Technologická platforma** – technologické prostředí, které umožňuje provoz systémů, podporujících fungování organizace.

V době vzniku definice byla veškerá IT infrastruktura založená na skutečnosti, že si organizace celou infrastrukturu pořizovaly samy (*on-premise infrastruktura*) a také se samy staraly o její provoz. To v praxi přinášelo celou řadu menších nebo větších omezení, která byla spojena především s *flexibilitou* a z ní plynoucí nákladností provozu. IT infrastruktura byla často předimenzovaná, aby bylo možné pokrýt jakékoliv budoucí neočekávané požadavky na vyšší výkon nebo naopak poddimenzovaná, aby byla

počáteční investice minimální. V obou případech docházelo k neefektivnímu využívání infrastruktury.

Předimenzovaná počáteční konfigurace byla plně využívána jen v určitých časových obdobích, zatímco ve zbytku času byl výkon z větší části nevyužitý. Poddimenzovaná infrastruktura zase přinášela problémy v okamžiku, kdy bylo nutné zareagovat na vyšší poptávku po výpočetním výkonu, který nebyl k dispozici. V obou případech neexistovala efektivní možnost dočasného uvolnění (odprodeje) nevyužitých kapacit a jejich následného zpětného nákupu v případě potřeby.

S příchodem *Cloud Computingu* se situace změnila. Například jednou z prvních organizací, která byla schopna efektivně pracovat s nevyužitým výpočetním výkonem, se stala společnost Amazon. Její primární obchodní strategií byl elektronický prodej zboží. *IT infrastruktura*, která byla pro tyto účely vybudovaná, musela být dostatečně robustní, aby byla připravená na období, kdy nakupovalo obrovské množství zákazníků po celém světě. Například v předvánočním období. Po zbytek času byl výpočetní výkon nevyužitý. Společnost Amazon jej za poplatek začala nabízet dalším zájemcům a tento model pronájmu se stal jedním ze základních kamenů nabídky *Cloud Computingových* služeb, které společnost nabízí. V dnešní době jsou dokonce zisky, plynoucí z provozování *Cloud Computingových* služeb, vyšší, než zisky z elektronického prodeje zboží a společnost Amazon patří mezi největší poskytovatele *Cloud Computingu* na světě [9], [10], [11].

Na příkladu společnosti Amazon a jiných je vidět, že díky *Cloud Computingu* nemusí většina organizací, pro které je *Cloud Computing* vhodný, problém předimenzování nebo poddimenzování prvotní konfigurace *IT infrastruktury* a její následné změny dle aktuální potřeby již řešit. Ne pro každou organizaci je ale *Cloud Computing* vhodný a použitelný.

2.2 Definice Cloud Computingu

Cloud Computing lze zjednodušeně definovat jako službu, ke které je možné se připojit z jakéhokoliv počítače s přístupem k síti. Pojem služba je v tomto případě roven odpovídající *IT infrastruktuře*, za kterou se skrývá hardware, software, datové úložiště a aplikace, které slouží pro obsluhu infrastruktury. Konzument služby si podle svých potřeb může objednat jen samotný hardware nebo kompletní infrastrukturu, kterou využívá prostřednictvím jedné nebo více aplikací.

Za první obecnou definici *Cloud Computingu* lze považovat definici poradenské společnosti Gartner, Inc. „*Cloud Computing is a style of computing where massively scalable IT-enabled capabilities are delivered 'as a service' to external customers using Internet technologies*“ [12]. Ta říká, že se jedná o způsob poskytování škálovatelných IT výpočetních kapacit uživatelům formou služby a prostřednictvím internetových technologií. Podobným způsobem se o vytvoření definice pokoušela celá řada dalších institucí a poskytovatelů *Cloud Computingu*. O tom, že to není jednoduchý a jednoznačný úkol, svědčí celá řada dalších existujících definic, které se shodují v základních principech, ale často jsou uzpůsobeny pohledu a potřebám autorů definice. V knize „*Cloud computing: Principles and Paradigms*“ [13] tak lze nalézt celkem 8 různých definic *Cloud Computingu*. Také akademické instituce, kde byl pojem *Cloud Computing* poprvé definován, se pokoušely o vytvoření obecné definice. Například studie, provedená na Univerzitě Berkeley [14], definuje *Cloud Computing* jako datacentrový hardware a software, jehož využití je fakturováno na základě principu „pay-as-you-go“ (podle odběru).

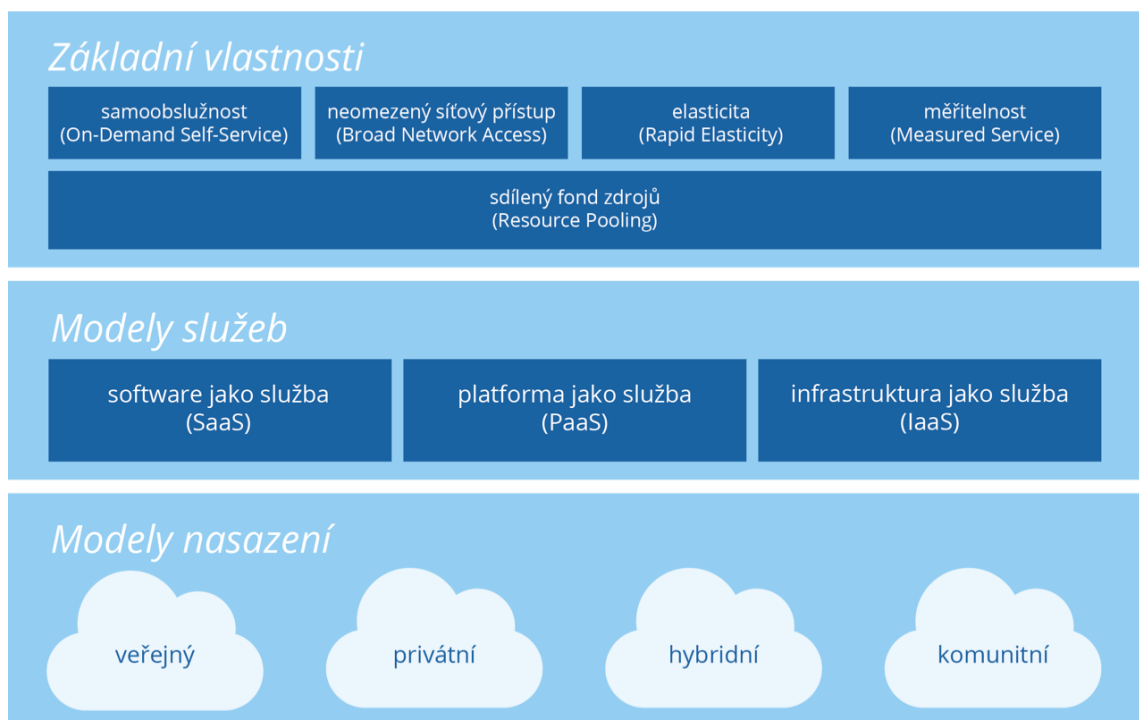
Neschopnost domluvit se přímo na jedné definici pojmu „*Cloud Computing*“ vedla k tomu, že místo definice se začaly hledat alespoň společné atributy, které *Cloud Computing* jednoznačně charakterizují a odlišují od jiných technologií. Mezi první, kdo tyto atributy definoval, patří opět společnost Gartner, Inc. Přestože i u definice společných atributů lze najít celou řadu rozdílných názorů, jsou definované atributy v praxi považovány za obecné výchozí vlastnosti *Cloud Computingu*. Celkem bylo definováno pět základních atributů [15]:

- **Princip služby (Service-Based)** – konzument a poskytovatel *Cloud Computingu* jsou od sebe odděleni prostřednictvím jednoznačně definovaného rozhraní, které nazýváme službou. Služba odstiňuje konzumenty od technologických detailů realizace a je jim nabízena jako nástroj, který je připravený plnit jejich požadavky bez ohledu na to, jak je nástroj technologicky realizovaný. Konfigurace a provoz nástroje jsou z pohledu konzumenta zcela automatické.
- **Škálovatelnost a elasticita (Scalable and Elastic)** – škálovatelnost umožňuje konzumentům automaticky nebo ručně měnit požadavky na požadovaný výkon a kapacitu v závislosti na dostupných zdrojích a požadavcích. Elasticita zobecňuje schopnost sdílených zdrojů přizpůsobit se požadavkům zákazníka jak směrem nahoru, tak i dolů. Dá se považovat za ekonomický model, který se automaticky přizpůsobuje (mění) na základě požadavků a využití kapacity konzumentem.
- **Sdílení (Shared)** – základem služby je robustní *IT infrastruktura*, postavená na propojených hardwarových a softwarových prostředcích. Tato infrastruktura, jejíž přesně definované složení je známé, je sdílená mezi více různými konzumenty. Nevyužitý zdroj lze libovolně přesouvat mezi různými výpočetními procesy a tím docílit úspory a maximalizace využití infrastruktury.
- **Měření / placení za využití (Metered by Use)** – u poskytovaných služeb se sleduje jejich využití konzumenty. Poskytovatel služeb následně využívá metriky pro definice různých modelů placení: placení za využití (z pohledu využitého času, výkonu nebo přeneseného množství dat), fixní platby nebo služby zdarma.
- **Používání prostřednictvím internetu (Uses Internet Technologies)** – spotřebitelé přistupují ke službě přes internet a internetové technologie, jako jsou protokoly HTTP a HTTPS a webově orientované architektury.

Těchto pět atributů položilo základ definice *Cloud Computingu*, vytvořené organizací NIST (National Institute of Standards and Technology¹), která je v současnosti v praxi používána nejčastěji. Její autoři definují *Cloud Computing* jako „*Cloud computing is a model for enabling ubiquitous, convenient, on-demand network access to a shared pool of configurable computing resources (e.g., networks, servers, storage, applications, and services) that can be rapidly provisioned and released with minimal management effort or service provider interaction*“ [16]. Na rozdíl od definice společnosti Gartner, Inc. je tato definice techničtěji orientovaná. Volně ji lze přeložit jako „Model, umožňující jednoduchý síťový přístup ke sdílené množině konfigurovatelných výpočetních zdrojů (sítí, serverů, úložišť, aplikací a služeb) podle potřeby, který lze rychle připravit a uvolnit s vynaložením minimálního úsilí a minimální interakcí poskytovatele.“

Model je tvořený pěti základními charakteristikami, třemi modely služeb a čtyřmi modely nasazení. Autory definice je nazýván *The Cloud 5-4-3 Model* [16] a zobrazuje jej Obrázek 1.

¹ Národní institut standardu a technologií při ministerstvu obchodu USA.



Obrázek 1. Model 5-4-3 společnosti NIST [zdroj: [16]].

2.2.1 Základní charakteristiky Cloud Computingu

Základní charakteristiky *Cloud Computingu* jsou obdobou pěti základní atributů, které definovala společnost Gartner, Inc. [15]. Jedná se tedy o klíčové vlastnosti, které musí každé řešení *Cloud Computingu* dle definice organizace NIST splňovat. Konkrétně se jedná o:

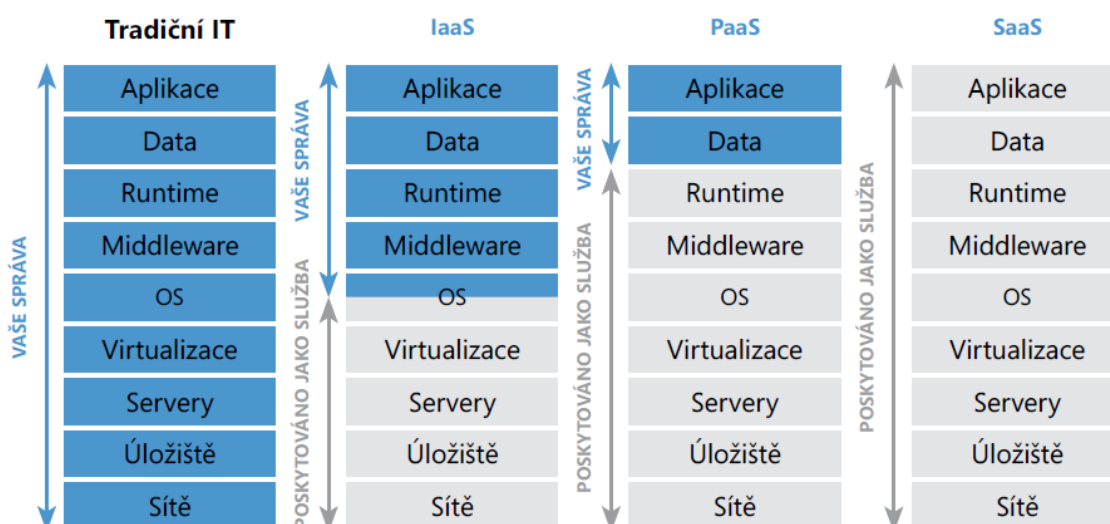
- **Samoobslužnost (On-Demand Self-Service)** – výpočetní výkon si může alokovat a konfigurovat konzument sám, bez nutnosti komunikace s poskytovatelem. Konfigurace je prováděna automaticky a rychlostí, která odpovídá možnostem použité technologie.
- **Neomezený síťový přístup (Broad Network Access)** – přístup k výpočetnímu výkonu je možný odkudkoliv prostřednictvím běžného síťového přístupu. Ten je zajišťován pomocí běžně užívaných síťových technologií a prostředků. Pro přístup lze využít libovolné zařízení, které tyto technologie podporuje.
- **Sdílený fond zdrojů (Resource Pooling)** – veškeré výpočetní prostředky poskytovatele služeb tvoří jeden společný zdroj, který je sdílen více různými konzumenty ve stejném čase. Kapacita zdrojů se navenek tváří jako neomezená a jejich alokace se provádí na základě potřeby a požadavků jednotlivých konzumentů. Prostředky mohou být umístěny a alokovány na různých místech.
- **Elasticita (Rapid Elasticity)** – přidělování požadovaných výpočetních prostředků konzumentům je prováděno automaticky a rychle (elasticky) dle aktuálních potřeb a využívání prostředků konzumenty. Kapacita může být navyšována i snižována tak, aniž by to zákazník zaznamenal a současně byl zajištěn optimální poměr cena výkon.

- **Měřitelnost (Measured Service)** - využívání výpočetních prostředků je průběžně monitorováno a měřeno. Díky tomu je možné sledovat kvalitu i kvantitu poskytovaných služeb. Na základě měření je možné využívání služeb správně účtovat konzumentům.

Pokud srovnáme uvedené vlastnosti s vlastnostmi, které definovala společnost Gartner, Inc. dojdeme k závěru, že jsou obdobné. Odlíšnosti jsou jen v drobnostech a způsobu, jakým jsou popsány. To potvrzuje skutečnost, že přestože jsou obě definice odlišné, vyjadřují totéž. Obdobně lze přistupovat i k dalším definicím, které pro vyjádření téhož využívají jen jiných formulací nebo slovních spojení. Z tohoto důvodu je v dalších částech této práce definice organizace NIST považována za obecnou a pokrývající veškeré potřeby této disertační práce.

2.2.2 Modely služeb

Zatímco definice společnosti Gartner, Inc. je, i díky zaměření společnosti, spíše obecnější, organizace NIST ji upřesňuje o další dvě části. První z nich je *Model služeb*. Jeho smyslem je konkretizovat rozsah *IT infrastruktury*, která je v rámci *Cloud Computingu* nabízena konzumentům jako služba. Rozlišujeme tři základní typy, které zachycuje Obrázek 2.



Obrázek 2. Model služeb Cloud Computingu [zdroj: [17]].

Modrou barvou jsou na něm zachyceny komponenty, které si spravuje konzument služeb ve vlastním *on-premise* prostředí, zatímco šedou barvou jsou vyznačeny komponenty, které si pronajímá v prostředí *Cloud Computingu*. Pokud provozuje veškerou infrastrukturu *on-premise* (tradiční IT), musí si zakoupit všechny komponenty, zatímco v případě používání služby SaaS si nemusí pořizovat nic. Co je pro jednotlivé modely služeb typické:

- **Infrastruktura jako služba (Infrastructure-as-a-Service, IaaS)** – model, který se může nazývat také Hardware-as-a-Service. V rámci služby si konzument pronajímá škálovatelnou infrastrukturu, výpočetní kapacitu a datová úložiště, jednoduše řešeno hardware. Nad ním nemá přímou kontrolu, a pokud to konzument přímo nevyžaduje, nemusí mu ani být známo, kde se fyzicky nachází. Softwarové a další komponenty si konzument obvykle pořizuje, instaluje a spravuje samostatně. **Platí se většinou za množství uložených / přenesených dat nebo procesorový čas.**

- **Platforma jako služba (Platform-as-a-Service, PaaS)** – tento model se někdy nazývá pojmem *Middleware*. Výchozí myšlenkou modelu je jeho využití pro vývoj aplikací a jejich testování. Konzument dostává k dispozici hotové vývojové prostředí na zvolené platformě, což mu šetří čas potřebný k instalaci a současně nabízí možnost škálovat výpočetní zdroje, potřebné jak pro vývoj, tak i provoz aplikací. K provozu se zpravidla používá veřejné API nebo weboví klienti. Součástí platby za využitou kapacitu jsou také licenční poplatky za vývojové prostředí a operační systém.
- **Software jako služba (Software-as-a-Service, SaaS)** – model SaaS představuje v rámci dělení, podle organizace NIST, pomyslnou nejvyšší vrstvu. Konzument si v jejím rámci pronajímá vše, od hardwaru přes operační systém, licence až po aplikaci, kterou využívá pro konkrétní účely. Dá se také definovat jako „software, zprostředkovaný uživateli prostřednictvím libovolného klientského rozhraní a komunikačních sítí“. Konzument nemá téměř žádnou kontrolu jak nad IT infrastrukturou, tak i samotnou aplikací. Může maximálně měnit svá osobní uživatelská nastavení. Ovšem jen za předpokladu, že to aplikace umožňuje. Proto je SaaS uváděno jako vrstva s nejvyšší mírou abstrakce. Aplikace SaaS jsou obvykle vyvinuty pro provoz ve webovém prostředí.

První dva typy modelů jsou využívány především IT odděleními nebo organizacemi, vyvíjejícími vlastní aplikace a systémy. Koncoví uživatelé (konzumenti) obvykle využívají model SaaS, v rámci kterého získávají jen přístup k aplikaci (službě), aniž by museli řešit, kde a jak je nainstalována a provozována. Jednoduchost a snadnost ve svém důsledku ale často vede k tomu, že uživatelé obcházejí vlastní IT oddělení a pokládají základ *stínového IT* (více viz kapitola 2.4).

Trend poskytování služeb ve formátu *jako služba (as-a-Service)* se stal natolik populárním, že se, nad rámec výše popsaných tří modelů, v praxi lze setkat s podobnými označeními různých služeb. Pokud jsou založeny na IT službách, tak jejich označení obvykle znamená jiné (upřesňující) označení modelu SaaS. Trend se dá obecně shrnout do pojmu *Everything-as-a-Service* (vše jako služba s označením *XaaS*). Příkladem může být *Communication-as-a-Service*, *Enterprise-Mobility-as-a-Service*, *Security-as-a-Service*, *Business-Process-Management-as-a-Service*, *Test-as-a-Service*, *Monitoring-as-a-Service* a mnoho dalších. V této disertační práci jsou dále používány jen modely, definované organizací NIST, které ale nejsou rozlišovány, takže obecně vyjadřují koncept *XaaS*.

2.2.3 Modely nasazení

Druhým upřesněním definice *Cloud Computingu* od organizace NIST je *Model nasazení*. Ten popisuje, jakým způsobem jsou služby *Cloud Computingu* nabízeny konzumentům. Jsou definovány čtyři typy:

- **Privátní (Private Cloud Computing)** – pro tento model je typické, že je založený na vlastních výpočetních prostředcích, poskytovaných omezenému počtu lidí, obvykle zaměstnancům jedné organizace, připojeným do soukromé sítě. Je založený na skutečnosti, že díky technologickému pokroku je možné si celou infrastrukturu pro *Cloud Computing*, od hardware až po potřebný software, pořídit (koupit) a provozovat ve vlastních prostorách a vlastními silami. Velcí výrobci a dodavatelé IT systémů (IBM, HP, DELL a další) dokonce nabízejí předkonfigurované „racíkové skříně“, které obsahují vše potřebné a jediné, co je nutné udělat pro zprovoz-

nění *Cloud Computingu*, je připojení k elektrické síti a do počítačové sítě. IT oddělení se v tomto případě stává poskytovatelem *Cloud Computingu* a zaměstnanci konzumenty. Privátní *Cloud Computing* je vhodným řešením pro organizace, které chtějí nebo například podle zákona musí mít plnou kontrolu nad daty a výpočetním výkonem. Jasnou výhodou je především bezpečnost řešení a umístění datového centra dle požadavků organizace konzumentů. Nevýhodou finanční nákladnost investice a provozu, která tento model nasazení výrazně odlišuje od ostatních a přibližuje *on-premise* budování a provozování *IT infrastruktury*.

- **Komunitní (Community Cloud Computing)** - model komunitní *Cloud Computing* infrastruktury je založený na privátním cloudu, který je sdílený mezi více organizacemi se stejnými nebo podobnými vlastnostmi a cíli. Takový cloud může být spravován jak uvnitř komunity, tak třetí stranou. Náklady na provoz jsou rozděleny na základě využití jednotlivými organizacemi. Díky podobnosti s modelem privátního *Cloud Computingu* nebývá tento model v jiných definicích považován za samostatný model.
- **Hybridní (Hybrid Cloud Computing)** – model hybridního *Cloud Computingu* je obvykle kombinací veřejného a privátního modelu. Oba modely jsou propojeny pomocí standardizovaných technologií, které umožňují vzájemný přenos dat mezi modely, ale navenek vystupují jako jeden celistvý prvek. Výsledkem je prostředí, ve kterém si organizace sama spravuje vlastní zdroje a zároveň spolupracuje s externími poskytovateli jimi dodávaných služeb. V privátní části obvykle uchovává citlivá data a provozuje kritické systémy, zatímco ve veřejné části vše ostatní. Výsledkem kombinace modelů jsou nižší náklady na pořízení při zachování elasticity řešení.
- **Veřejný (Public Cloud Computing)** – poslední model nasazení se, na rozdíl od ostatních, vyznačuje tím, že není nutné téměř nic² investovat do vlastní *IT infrastruktury*, ale vše si lze pronajmout od veřejně dostupných poskytovatelů. Jedná se tedy o model, který nejvíce splňuje definici a všechny vlastnosti *Cloud Computingu* dle organizace NIST. Díky možnosti využití širokou veřejností a jednoduchou dostupností odkudkoliv, dochází k výraznému snížení ceny pro konzumenty jak za pořízení, tak i provoz.

Podobně, jako tomu bylo u modelu služeb, lze i u modelu nasazení v praxi najít další označení, jako je například *Metropolitan Cloud Computing*, *Academic Cloud Computing*, *Government Cloud Computing* a další. Nejedná se o jiné typy nasazení, ale jen o jiné označení *Privátního* nebo *Hybridního Cloud Computingu*, určeného vybrané skupině uživatelů, kterou lze identifikovat přímo z názvu. V rámci této práce se budeme v dalších částech zabývat jen *veřejným Cloud Computingem*.

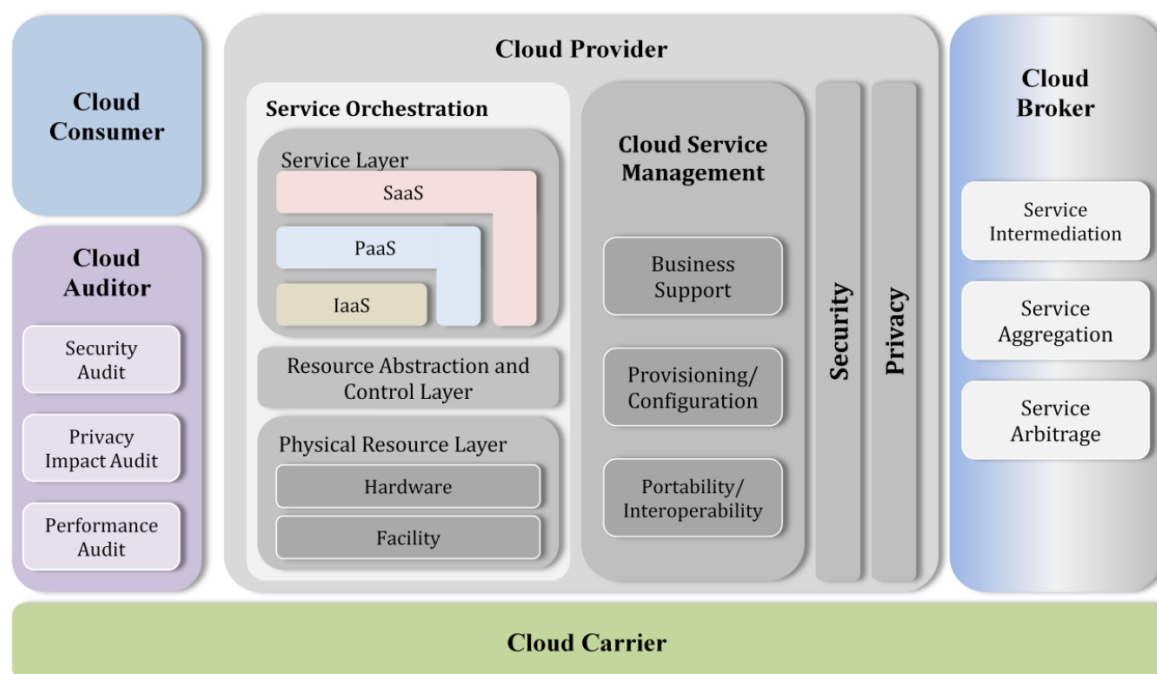
2.3 Referenční model architektury

O tom, že *Cloud Computing* není jen „jiná“ technologie, ale celý koncept a filosofie práce s *IT infrastrukturou*, svědčí skutečnosti, že organizace NIST, mimo samotné definice pojmu, vytvořila i referenční model, který zachycuje všechny aspekty *Cloud Computingu* od návrhu po provoz. Jeho části zobrazuje Obrázek 3.

² V minimální konfiguraci postačí konzumentům zařízení pro připojení a spuštění služby (obvykle webový prohlížeč v počítači nebo mobilním zařízení) a přístup k internetu.

Model je důležitý především pro poskytovatele *Cloud Computingových* služeb. Pro běžného konzumenta se *Cloud Computing* jeví jako mrak, jak jej poprvé použil Ramnath Chellappa [2], ke kterému přistupuje přes jeden přístupový bod. Poskyvatelé si při budování *Cloud Computingové* infrastruktury musí uvědomit, že se nejedná jen o hardware a software, nýbrž o kombinaci pěti různých částí (i netechnických), které jsou vzájemně provázané a dají se charakterizovat pomocí rolí:

- **Cloud Consumer (konzument Cloud Computingu)** – uživatelská část, kterou představují konzumenti libovolné z nabízených *Cloud Computingových* služeb. Organizace, poskytující *Cloud Computing*, musí mít vyřešený způsob spolupráce s konzumenty. Jedná se o netechnickou, spíše obchodně zaměřenou část.
- **Cloud Provider (poskyvatel Cloud Computingu)** – jádro modelu, které pokrývá veškeré technické aspekty od hardware, přes automatizaci konfigurace služeb po technologické zajištění bezpečnosti.
- **Cloud Auditor (auditor Cloud Computingových služeb)** – část, která zajišťuje nezávislé měření a hodnocení všech aspektů provozu *Cloud Computingových* služeb od dostupnosti, přes výkon až po bezpečnost. A to včetně garance dodržení technických a legislativních norem. Jedná se o netechnickou část, která využívá výstupů Cloud Providera nebo jiných monitorovacích nástrojů.
- **Cloud Broker (zprostředkovatel Cloud Computingových služeb)** – prostředník mezi konzumentem a poskytovatelem služeb, který zjednodušuje konzumentům komunikaci s poskytovatelem. Ať již v oblasti technické konfigurace požadovaných služeb nebo obchodní komunikaci. Smyslem části je zjednodušit interakce mezi konzumenty, kteří nemusí mít žádné technické znalosti a poskytovateli, jejichž infrastruktura bývá často velmi složitá a navenek těžko uchopitelná.



Obrázek 3. Referenční model architektury dle NIST [zdroj: [18]]³.

³ Obrázek byl z důvodů použitých pojmů ponechán v původní originální podobě.

- **Cloud Carrier (nositel Cloud Computingové služby)** – mezivrstva, zajišťující síťové připojení ke službám a přenos dat mezi konzumenty a poskytovatelem.

Jednotlivé části mohou být realizovány různými částmi organizace, která služby nabízí nebo být rozprostřeny mezi více spolupracujících organizací. Například nezávislý audit provozu služeb nebo připojení do internetu a prostory pro umístění hardware může zajišťovat jiná organizace než organizace, zajišťující samotnou *IT infrastrukturu*.

Vzhledem k tomu, že v rámci návrhu nové metody finančního hodnocení investice řešíme především část konzumentů, budeme dále používat pojem *konzument* ve smyslu koncový uživatel *Cloud Computingové* služby a *poskytovatel* ve smyslu všech částí referenčního modelu.

2.4 Cloud Computing v praxi

Popsané definice a vlastnosti *Cloud Computingu*, včetně jeho referenčního modelu, potvrzují, že jeho označení za *pátou utilitu* [4], má reálné základy. Na jedné straně je robustní infrastruktura, vybudovaná několika poskytovateli služeb, na druhé straně je obrovské množství konzumentů po celém světě, kteří si mohou vybrat libovolného poskytovatele, jednoduše si nakonfigurovat parametry služby dle svých požadavků a platit jen za skutečnou spotřebu využitých zdrojů. Díky tomu se z *Cloud Computingu* stává čím dál tím větší samozřejmost, což potvrzuje množství a různorodost nabízených služeb, které jsou často dostupné již jen jako *Cloud Computingová* služba.

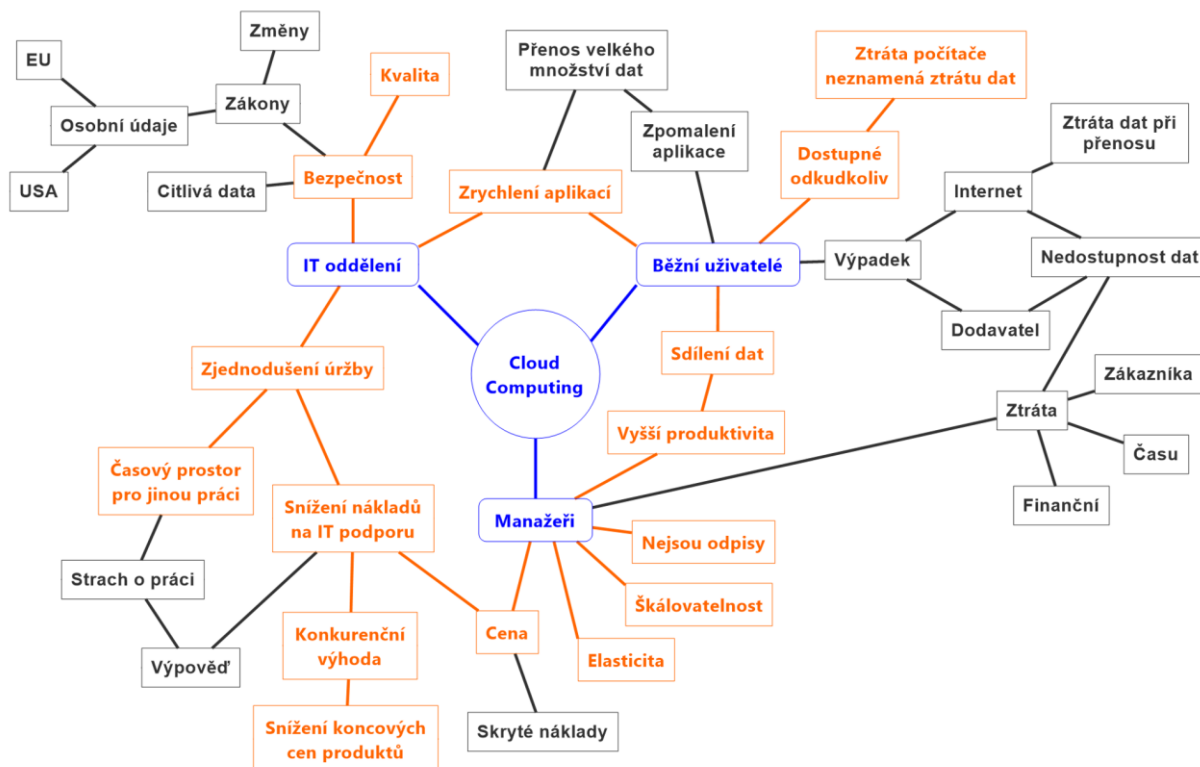
Ne pro každého je ale *Cloud Computing*, jak bylo zmíněno v kapitole 2.1, vhodnou alternativou k *on-premise infrastruktuře*. Při zvažování jeho využití je třeba vycházet jak z výhod, tak i nevýhod. V rámci přípravy disertační práce byl provedený průzkum vlastností *Cloud Computingu* a jeho vnímání různými subjekty (poskyvatelé, konzumenti, akademické a neakademické instituce). Výstupem je jednoduchá myšlenková mapa, kterou ukazuje Obrázek 4.

V centru je základní myšlenka, v našem případě *Cloud Computing* a z něj vycházejí jednotlivé výhody a nevýhody. Výhody jsou označeny oranžovou barvou, nevýhody černou. V mapě jsou zachyceny jak technické, tak i netechnické aspekty [19], [20], [21], [22]. Pohlíží se na ně ze tří různých pohledů, které reprezentují různé uživatelské role organizace, která přechod na *Cloud Computing* zvažuje:

- **IT oddělení** – oddělení a pracovníci, kteří zajišťují a garantují provoz IT infrastruktury.
- **Manažeři** – vedení organizace, které definuje strategii společnosti, řídí tok financí a zaměstnance.
- **Běžní uživatelé** – koncoví konzumenti poskytovaných IT služeb.

Přestože se jedná o zjednodušený pohled na výhody a nevýhody *Cloud Computingu*, lze z mapy vyčíst jasný rozhodovací konflikt, který říká, že to, co se zdá být pro jednu roli výhodou, může být pro jinou nevýhodou. Například zjednodušení správy počítačů může mít pozitivní dopad na zaměstnance IT oddělení, protože jim odpadne práce, spojená se základní údržbou hardware, ale na druhou stranu to u nich může vyvolat pocit strachu o práci. Stejně tak může pro vedení organizace znít zajímavě vysoká dostupnost, kterou ale může degradovat špatné připojení organizace do internetu. Z tohoto důvodu

je nutné při rozhodování o použití *Cloud Computingu* v každé organizaci zvažovat pohled ze všech tří rolí a nejen jedné, často té, která je těm, co rozhodují, nejbližší.



Obrázek 4. Mapa výhod a nevýhod Cloud Computingu.⁴

Mezi nejčastěji uváděné technické výhody *Cloud Computingu* patří:

- **Rychlost nasazení** – požadovanou konfiguraci lze nastavit a zprovoznit velmi rychle, obvykle v řádu minut.
- **Jednoduchá změna konfigurace** – konfiguraci služeb lze provést jednoduše a rychle, v řádu minut bez nutnosti migrace dat. Požadovaný výpočetní výkon lze navyšovat i snižovat.
- **Garance správy a údržby** – využitím *Cloud Computingových* služeb odpadá konzumentům nutnost starat se o provoz služeb vlastními silami, vše je zahrnuto v používaných a placených službách poskytovatele.
- **Upgrade služeb v ceně** – průběžným placením za služby získává konzument automaticky právo na upgrade odebíraných služeb na vyšší a novější verze, upgrade je prováděn automaticky, včetně migrace dat.
- **Dostupnost z libovolného místa s připojením k internetu** – díky vysokorychlostnímu celosvětovému propojení není problém se ke službě připojit odkudkoliv, kde je k dispozici internetové připojení.
- **Garance kvality služeb prostřednictvím SLA** – poskytovatelé služeb garantují kvalitu poskytovaných služeb, především jejich dostupnost, formou SLA (Service

⁴ Mapa vznikla v rámci výzkumu, provedeného v bakalářské práci Veroniky Noskové [120], vedené autorem této disertační práce. Pro účely této disertační práce byla upravená.

Level Agreement) smlouvy. Ta jednoznačně definuje parametry služby a také postihy za její nedodržení. Dostupnost služby (mimo garanci připojení) je pro většinu organizací vyšší než v případě vlastního *on-premise řešení*.

- **Vysoká bezpečnost** – bezpečnost byla, je a zřejmě i v budoucnu bude nejčastěji diskutovanou (ne)výhodou *Cloud Computingu* [22]. V praxi ale platí, že minimálně pro malé a střední organizace je bezpečnost poskytovatelů vyšší, než jakou jsou schopni zajistit vlastními silami. Ať již se jedná o bezpečnost fyzickou, kdy není vůbec jasné, kde se výpočetní výkon nachází nebo systémovou.

Do kategorie technických nevýhod se řadí především:

- **Umístění dat a systémů mimo organizaci** – zvláště u větších organizací nebo organizací, podléhajícím legislativním omezením, panuje nedůvěra k poskytovatelům služeb a jejich umístění. Přestože poskytovatelé garantují vysokou úroveň zabezpečení, podpořenou získanými bezpečnostními certifikáty, má mnoho konzumentů obavu ze zneužití poskytovatelem a jeho zaměstnanci.
- **Přístup přes internet** – provoz služby je závislý na internetovém připojení a jeho kvalitě. Jestliže se organizace vyskytuje v místech, kde žádné připojení není nebo je jeho kvalita nízká, může být služba nedostupná.
- **Konfigurace limitovaná nabídkou** – žádný poskytovatel nemůže nabídnout neomezenou škálu konfigurací. Omezení je obvykle dáno velikostí poskytovatele, fyzickými možnostmi datového centra, kde jsou technologie provozovány a samotnými použitými technologiemi. Ve specifických případech je proto vhodnější výpočetní výkon provozovat v režimu *on-premise*.
- **Možná pomalejší odezva** – kvalita internetového připojení, způsob připojení do internetu a také kvalita interní sítě konzumenta mohou mít vliv na odezvu služby, ke které se konzumenti připojují. V důsledku toho je služba nepoužitelná.
- **Omezená přenosová kapacita** – podobně jako je omezená škálovatelnost konfigurací, je omezená i přenosová kapacita mezi konzumentem a poskytovatelem. Žádný konzument nemá k dispozici neomezenou komunikační kapacitu. V případě, že potřebuje přenášet větší kapacity dat od něj k poskytovateli nebo obráceně, musí počítat s pomalejší odezvou, kterou způsobuje zpoždění doručení kompletního balíku přenášených dat. S nekvalitním připojením prodleva přenosu dat narůstá.
- **Možná rozdílnost legislativy poskytovatele a konzumenta** – možnost využívat služeb libovolného poskytovatele v libovolné lokalitě může znamenat, že se poskytovatel a konzument řídí jinými zákony a předpisy. Při případném právním sporu není jasné, jaký bude výsledek. Z pohledu bezpečnosti to může například znamenat, že poskytovatel je povinen poskytovat údaje o konzumentech vládě nebo jejím institucím.

Výčet výhod a nevýhod potvrzuje fakt, že výhoda je často i nevýhodou. Mezi netechnické výhody, bráno především z ekonomického pohledu, patří:

- **Nízká počáteční investice** - na rozdíl od *on-premise IT infrastruktury* není nutné do zprovoznění služby téměř nic (až na připojení do internetu) investovat. Veškeré náklady se z investičních nákladů (CAPEX) převádějí do provozních (OPEX).
- **Konkurenční výhoda** – ušetřené investiční náklady do IT infrastruktury lze použít pro jiné účely.

- **Neexistující opakované investice** – součástí služby je obnova *IT infrastruktury* po ukončení doby její životnosti. Podobně, jako není nutné investovat do počátečního vybudování *IT infrastruktury*, není nutné investovat ani do její obnovy. Vše je zahrnuto v pravidelných platbách za spotřebovaný výpočetní výkon.
- **Neexistující skryté náklady** – zatímco u provozu infrastruktury ve formě on-premise je stanovení a rozpočítání nákladů na provoz složité a velmi často se nezahrnují skryté náklady. Například na školení zaměstnanců IT oddělení. U *Cloud Computingu* jsou náklady jasně dané ceníkem služeb a uzavřenou smlouvou mezi konzumentem a poskytovatelem.
- **Nižší náklady** – díky podpoře služby poskytovatelem může dojít ke snížení nákladů na provoz celé *IT infrastruktury*. Například převodem zaměstnanců na jinou činnost, která přináší další přidanou hodnotu.
- **Platba za spotřebovaný výkon** – konzument platí jen za spotřebovaný výpočetní výkon, který může dle svých potřeb navyšovat nebo ponížovat.

Nevýhodami z ekonomického hlediska jsou obvykle:

- **Pravidelné platby** – ne každému vyhovují průběžné platby za spotřebovaný výpočetní výkon. Pro některé organizace může být výhodnější plánovaná jednorázová investice. Například z důvodů nejistého toku peněz (Cash Flow).
- **Dlouhodobá nevýhodnost** – v případě některých konfigurací služeb mohou být celkové dlouhodobé provozní náklady na provoz *Cloud Computingové* služby vyšší než jednorázová investice do vlastní, *on-premise IT infrastruktury*. Obvykle v případech, kdy uvažujeme období delší, než je běžná životnost komponent a je nutné investovat do jejich obnovy.
- **Malé nebo žádné úspory** – ačkoliv jsou náklady na využívání *Cloud Computingové* služby obvykle nižší, než náklady na její vybudování, mohou doplňkové náklady způsobit, že v celkovém součtu nepřinese využívání *Cloud Computingu* žádnou úsporu nebo bude *Cloud Computing* dokonce dražší. Typickým příkladem mohou být dodatečné náklady, spojené s přenosem dat a vybudováním kvalitního a spolehlivého připojení do internetu.

Z pohledu výhod a nevýhod se tato disertační práce, s ohledem na návrh nové metody hodnocení investice, dále omezuje jen na ty ekonomické, spojené s *flexibilitou*, protože cena, flexibilita a vysoká škálovatelnost jsou považovány za klíčové vlastnosti *Cloud Computingu* [14].

Na závěr je nutné zmínit ještě jednu obecnější výhodu *Cloud Computingu*, která je současně i nevýhodou a vychází z kombinace většiny výše uvedených. Díky jednoduše možnosti aktivace a provozu jakékoliv veřejně dostupné aplikace (služby), aniž by k tomu byl zapotřebí souhlas a asistenci IT oddělení, se z běžných uživatelů stává součástí IT oddělení a pokládá se základ *stínového IT* [23], [24]. To se začíná stávat jak bezpečnostním a provozním rizikem, tak i zdrojem podnětů pro rozšíření a zkvalitnění služeb IT oddělení. Zaměstnanci mohou na jednu stranu používat aplikace, jejichž zařízení a zprovoznění *on-premise* by bylo finančně a časově náročné. Na druhou stranu ale otevírají možnost pro únik firemních dat a znalostí.

2.5 Zhodnocení Cloud Computingu

Tato kapitola shrnula klíčové myšlenky *Cloud Computingu*. Jejím cílem nebylo se podrobněji zabývat všemi aspekty *Cloud Computingu*, ale definovat (vymezit) pojmy a vlastnosti, které budou využity v dalších částech této dizertační práce. Jedná se především o následující skutečnosti:

- Vycházíme z definice *Cloud Computingu*, specifikované organizací NIST.
- Omezíme se jen veřejný cloud.
- Nebudeme rozlišovat typ modelu služeb (pro praktickou část není důležité, zda používáme *IaaS*, *PaaS* nebo *SaaS*).
- Z vlastností *Cloud Computingu* se zaměříme především na *flexibilitu* a *škálovatelnost*.
- Budeme porovnávat a hodnotit ekonomické (ne)výhody *Cloud Computingu* vůči řešení *on-premise*.

Díky těmto omezením a zobecněním nebylo nutné problematiku *Cloud Computingu* rozebírat podrobněji. Ať již se jedná o rozbor konkrétních služeb nebo existující poskytovatele. Stejně tak nebyl důvod pro analýzu dalších definic a vlastností *Cloud Computingu*.

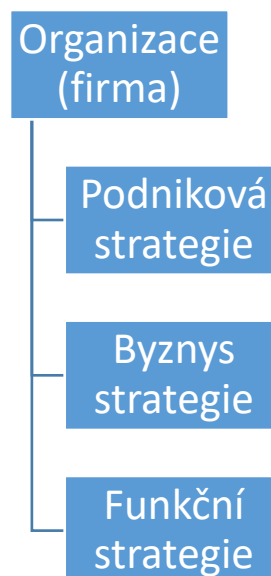
Následující kapitola podrobněji rozebírá způsoby propojení *byznys* a *IT strategie*. Jak bylo zmíněno v kapitole 2.1, znalost fungování a potřeb celé organizace je klíčová pro správné nastavení a provozování *IT infrastruktury*. Znalost byznys potřeb by měla vždy předcházet technické specifikaci, aby bylo možné zajistit optimální poměr cena / výkon jak při prvotní investici, tak i budoucím zajišťování dostatečné flexibility (*agility*) organizace.

3 Plánování IT infrastruktury

V současné době existují dva různé modely budování a provozu *IT infrastruktury*. Historicky dlouhodobě používaný *on-premise* a nový, postupně nabývající na významu, *Cloud Computing*. Zatímco *on-premise* model představuje infrastrukturu budovanou a provozovanou kompletně konzumentem služeb, model *Cloud Computingu* může pokrývat jen její část bez nutnosti cokoliv budovat.

Protože smyslem infrastruktury je poskytovat konkurenční výhodu za výhodných podmínek, definovaných poměrem cena / výkon, je nutné při volbě, který z modelů nebo jakou jejich kombinaci zvolit, dobře plánovat k čemu a jak bude využívána. Klíčovým problémem, jak bylo uvedeno v kapitole 2.1, je zejména stanovení (naplánování) prvotní kapacity a schopnosti dynamicky reagovat na budoucí změny jak uvnitř organizace, tak v jejím okolí. *Cloud Computing* sice díky své „zabudované“ *flexibilitě* a vysoké míře *elasticity* dokáže na měnící se požadavky reagovat rychle, ale i v tomto případě platí, že špatné plánování se projeví minimálně ve zbytečně vysokých nákladech a ztrátách.

Plánování kapacity a výpočetního výkonu se nutně odvíjí od plánování strategie celé organizace, která infrastrukturu využívá. Ta obvykle vychází z portfolia nabízených služeb, velikosti organizace, pokrytí lokálního a světového trhu, počtu zaměstnanců, vlastních znalostí a schopností, dostupných zdrojů například pro výrobu a v neposlední řadě finančních možností organizace. Z výčtu vstupních parametrů plyne, že plánování je komplexním úkolem a proto se v praxi tvorba strategie obvykle dělí do několika vzájemně provázaných strategií, které se liší svým zaměřením a mírou detailu. Na obecné úrovni lze najít tři základní typy strategie [25], které jsou řazeny do hierarchie, kterou demonstruje Obrázek 5.



Obrázek 5. Hierarchie strategií [zdroj: vlastní].

Na pomyslném vrcholu je Podniková strategie, kterou lze definovat například dle [25] jako dokument, který „obsahuje a určuje základní podnikatelská rozhodnutí např. v jaké zemi a v jakém odvětví bude společnost realizovat svou činnost. Jakým způsobem bude probíhat alokace disponibilních kapitálových prostředků a zejména, jakým způsobem bude probíhat samotné řízení podnikání.“ Jejím smyslem je především ukotvit organizaci v reálném světě a definovat jakým způsobem bude v tomto světě fungovat. Na tuto

strategii je těsně navázána *byznys strategie*, kterou lze dle [26] definovat jako dokument, který „navazuje na podnikovou strategii. Obsahuje formulaci obchodních strategií a to zpravidla pro každou obchodní jednotku. Vyjadřuje základní strategické cíle a cesty, které povedou k jejímu naplnění a to vždy pro danou obchodní jednotku.“ Cílem je rozpadnout a konkretizovat obecné plány a dát jim konkrétní, především ekonomický rámeček. Poslední v hierarchii je funkční strategie, která dle [26] „navazuje na obchodní strategii a konkretizuje ji v následujících oblastech strategií: strategie marketingu, strategie výzkumu a vývoje, strategie řízení výroby, strategie IS/IT, personální strategie atd.“ Protože cílem této disertační práce není detailní rozbor strategií a jejich tvorba, jsou dále uvažovány jen dva typy strategií. *Byznys strategie*, která v sobě zahrnuje jak podnikovou, tak *byznys strategii* a *IT strategii*, která je jednou z funkčních strategií⁵.

Se zjednodušením na dvě různé strategie se v praxi lze setkat často. Smyslem je především zdůraznění provázanosti různých částí organizace a plánování jak jednotlivých částí, tak i celé organizace. Potvrzením této skutečnosti jsou různé existující definice *IT strategie*, které jsou jedním z východisek této disertační práce. Nejlépe vystihuje provázanost různých částí organizace definice dle [27] „*Strategie ICT je odvozena od strategie byznysu. Je tedy ovlivněna jak vnějšími vlivy na podnik, tak interními procesy a požadavky byznysu. Úspěšná strategie ICT pracuje s termíny byznysu spíše než s technologickou terminologií tak, aby byla srozumitelná všem pracovníkům, a tedy i těm, kteří pracují jinde než v informatice. Její přílohy a detailnější úrovně se pak přirozeně vyjadřují terminologií ICT.*“ Podobně se k definici staví i [28] „*Strategie ICT popisuje, jak CIO a jeho tým využije informační technologie k podpoře strategie byznysu s tím, že strategii ICT odvodí od strategie byznysu.*“

Realita je bohužel ve většině případů stále jiná. Strategie se buď netvoří vůbec, nebo jsou vytvářeny odděleně [29], [30], [31]. V důsledku toho jsou kapacity podpůrných složek nedostatečné nebo neefektivně využívané, což obvykle vede ke snížení konkurenceschopnosti celé organizace. *Cloud Computing* může, zvláště v prostředí s velkou nejistotou, tvorbu strategie a plánování zjednodušit. Nicméně, i když zjednodušíme plánování a zvyšujeme odolnost vůči možným budoucím změnám, vždy je nutné znát alespoň roli, jakou IT oddělení v organizaci zastupuje.

V této kapitole jsou podrobněji popsány možné vazby mezi *byznys strategií* fungování organizace a *IT oddělením (IT strategií)*, aby bylo zřejmé, jakým způsobem IT oddělení funguje a jakým způsobem je možné plánovat prvotní i budoucí výpočetní kapacity. V závěru je krátce analyzován pojem *Agilita*, který je čím dál tím více rozhodujícím parametrem konkurenceschopnosti libovolné organizace [25]. V praxi se běžně používá jako synonymum pojmu *flexibilita* a je pomyslnou *červenou nití*, která se táhne celou touto disertační prací.

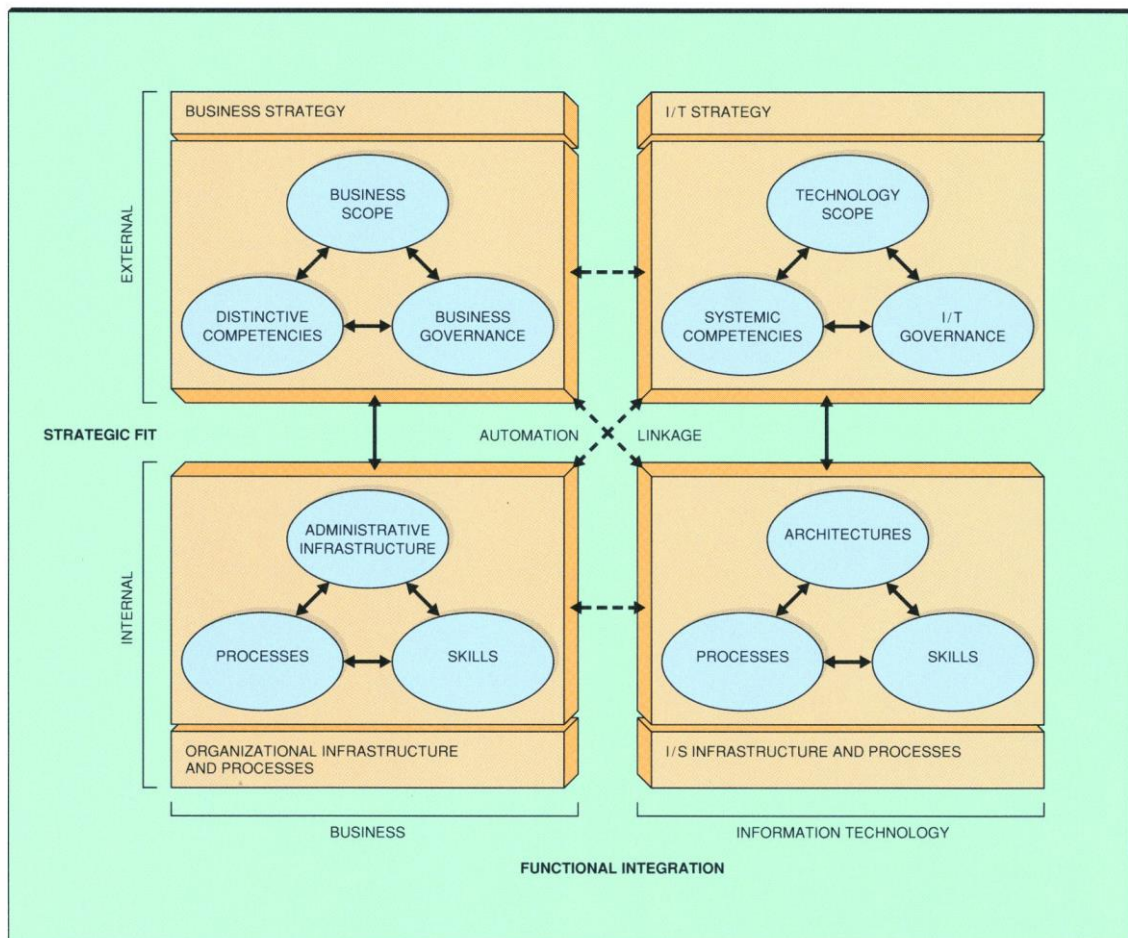
Cílem této kapitoly je poukázat na možné výhody *Cloud Computingu* vůči *on-premise* řešení, zdůraznit parametry, které budou v dalších částech disertační práce využívány pro návrh nové metody a poukázat na skutečnost, že IT technologie mohou výrazným způsobem ovlivnit strategické plánování celé organizace.

3.1 Vazba mezi byznys a IT strategií

Možností, jak provázat *byznys* s *IT strategií* libovolné organizace, existuje několik. Obvykle se mluví o čtyřech modelech [32], které se od sebe liší rolí, jaké v nich má vedení

⁵ V praxi se lze často setkat s pojmem *ICT strategie*, který zdůrazňuje, že do oblasti IT patří také technologie komunikační. Pro potřeby této práce nejsou oba pojmy rozlišovány a vyjadřují totéž.

společnosti (management), IT oddělení a která ze dvou strategií (*byznys, IT*) je iniciátorem (zdrojem) změn pro tu druhou. Existující vazby a vzájemné propojení zobrazuje Obrázek 6.



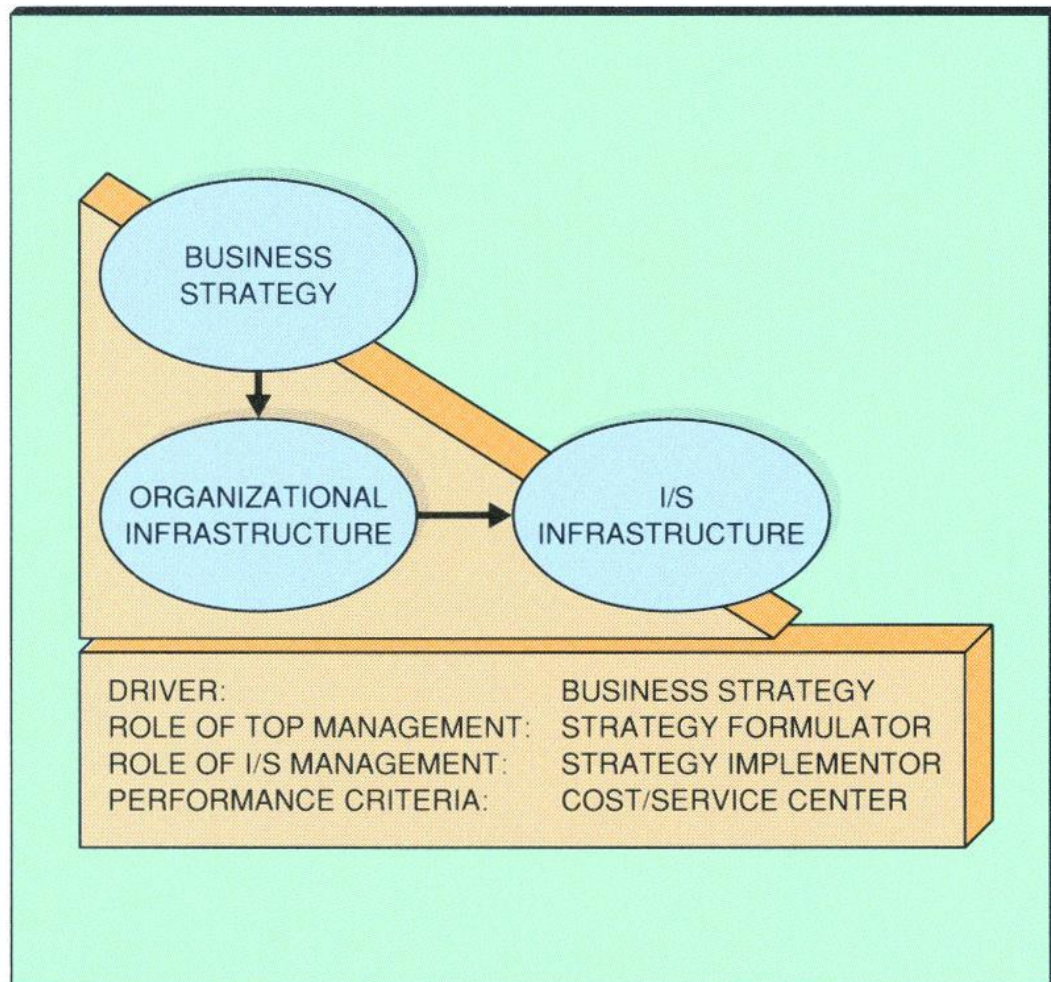
Obrázek 6. Vazby mezi byznys a IT strategiemi [zdroj: [32]]⁶.

Je složený ze čtyř částí. Horní polovina obsahuje strategie a strukturu jejich obsahu. Dolní polovina zachycuje části infrastruktury organizace, které odpovídají konkrétním strategiím. Šipky mezi jednotlivými částmi naznačují vazby a závislosti. *Byznys strategie* definuje *organizační infrastrukturu*, *IT strategie* definuje *IT infrastrukturu*. Tomu odpovídají plné obousměrné šipky, protože infrastruktura může definovat strategii. Přerušované šipky naznačující závislosti mezi různými částmi organizace, v tomto případě IT oddělením a zbytkem organizace. V dalších podkapitolách jsou postupně popsány různé způsoby závislostí strategií a je analyzováno, jakým způsobem s nimi souvisí *Cloud Computing*.

3.1.1 Tradiční model IT infrastruktury

Historicky nejstarší a stále ještě tradiční model infrastruktury znázorňuje Obrázek 7. Základem modelu je definice *byznys strategie*, která definuje odpovídající *organizační infrastrukturu*, v rámci které se následně hledá prostor pro využití IT prostředků.

⁶ Obrázek byl z důvodů použitých pojmů ponechán v původní originální podobě. Obdobně jsou v originální podobě uvedeny i jeho části, použité v dalších kapitolách.

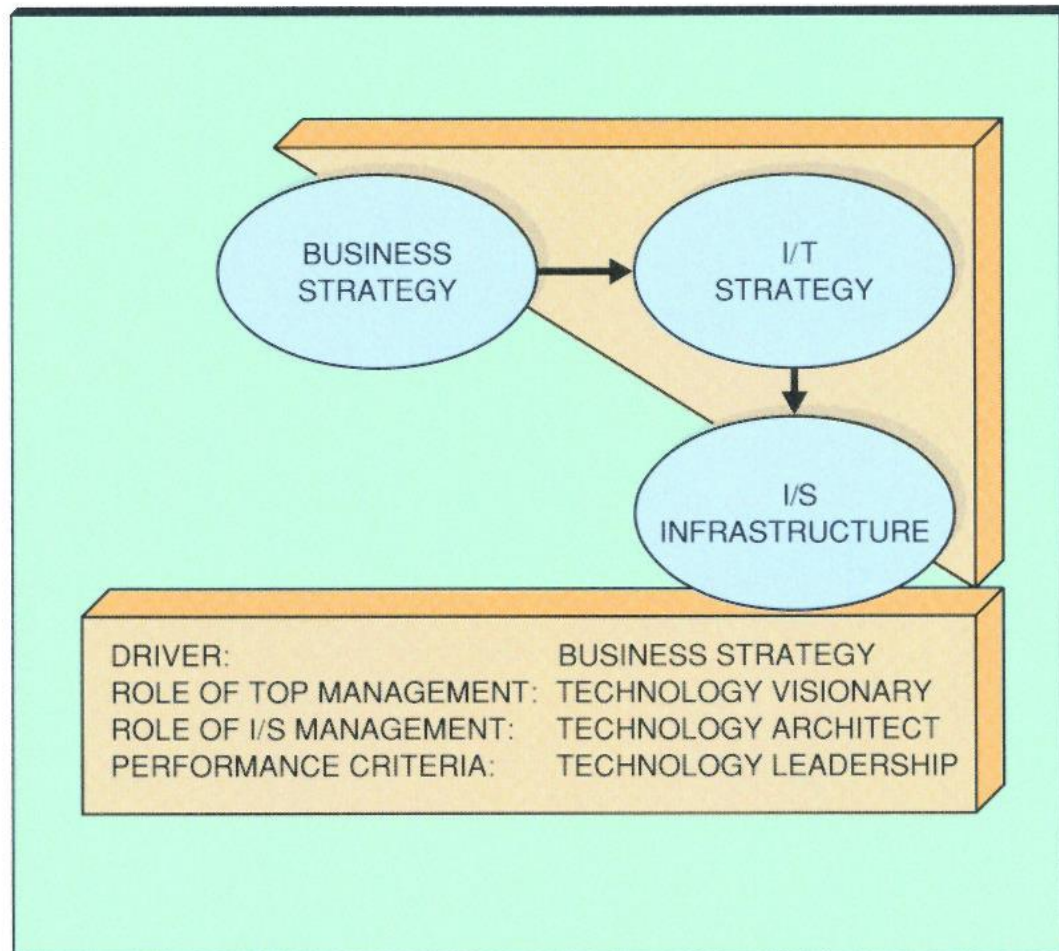


Obrázek 7. Tradiční model IT infrastruktury[zdroj: [29]].

IT oddělení v tomto případě následuje požadavky *byznysu* a má pasivní roli. Slabinou tohoto modelu je, jak bylo uvedeno dříve, silná vazba na *byznys strategii*, která často není vůbec definovaná nebo je natolik nejasná, že z ní nelze *IT strategii* jednoznačně definovat a vybudovat odpovídající infrastrukturu. Použití *Cloud Computingu* v tomto modelu může významným způsobem, díky jeho *flexibilitě*, minimalizovat dopady chybného naplánování prvotní konfigurace (poddimenzování, naddimenzování) a snižovat *setrvačnost byznys strategie* vůči změnám okolí organizace. Změny mohou být krátkodobé, dlouhodobé, nejisté a je otázkou, zda a jak v těchto případech strategii měnit.

3.1.2 Model technologické transformace

Také u druhého modelu je výchozím bodem definice *byznys strategie*. Vazba na *IT strategii* a *IT infrastrukturu* je v tomto případě, jak ukazuje Obrázek 8, ale jiná. Tento model se obvykle vyskytuje u organizací, které považují IT technologie za klíčovou komponentu konkurenční výhody. Její využití neomezuje aktuálním stavem organizační infrastruktury, ale snaží se ostatní části *IT infrastruktury* přizpůsobovat. Tyto společnosti mají obvykle *byznys strategii* definovanou dobře, protože na rozdíl od předchozího modelu se chyba projeví dříve a ve větším rozsahu.



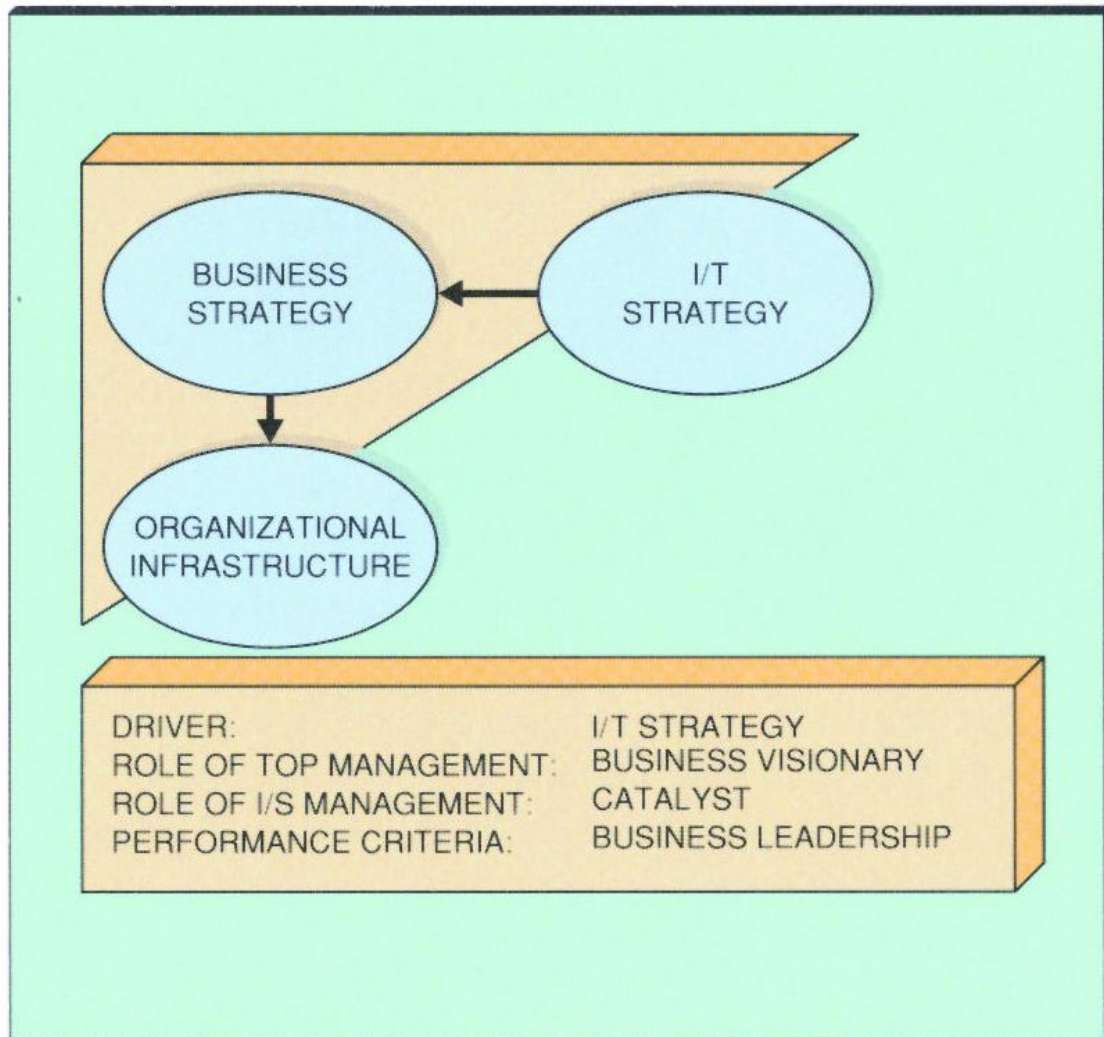
Obrázek 8. Model technologické transformace [zdroj: [32]].

Nefunkčnost IT systému se v tomto případě většinou nedá nahradit lidskými zdroji, protože ty nemusí být k dispozici nebo je nelze využít. Často sem patří organizace, které mají svou existenci založenou na prodeji a distribuci elektronických služeb. *Cloud Computing* může být v případě tohoto modelu akcelerátorem změny, který umožní jednoduchou, levnou a rychlou distribuci služeb organizace zákazníkům. Díky robustní infrastruktuře může také eliminovat, podobně jako v předchozím případě, nevhodné prvotní plánování potřebné kapacity.

3.1.3 IT jako poskytovatel konkurenční výhody

Třetí a čtvrtý model se od prvních dvou liší tím, že primárním iniciátorem změn je vytvořená *IT strategie*. Třetí model konkrétně vychází z předpokladu, že *IT strategie* je zdrojem tvorby *byznys strategie*. Vazbu zobrazuje Obrázek 9. Od IT technologií se očekává, že jsou nositelem pokroku a konkurenční výhody.

IT oddělení je součástí vrcholového vedení společnosti a spolupodílí se na tvorbě podnikové strategie. Je iniciátorem nových myšlenek a přichází s podněty pro rozšíření nebo změnu portfolia nabízených služeb. Někdy může být dokonce iniciátorem myšlenky založení úplně nové organizace. *Cloud Computing* je v tomto modelu a v současné době sám o sobě iniciátorem změn fungování organizace, která využívá *on-premise infrastrukturu*. Také rozrůstající se množství nových aplikací, nabízených prostřednictvím *Cloud Computingu* může být samo o sobě zdrojem podnětů pro rozvoj organizace.

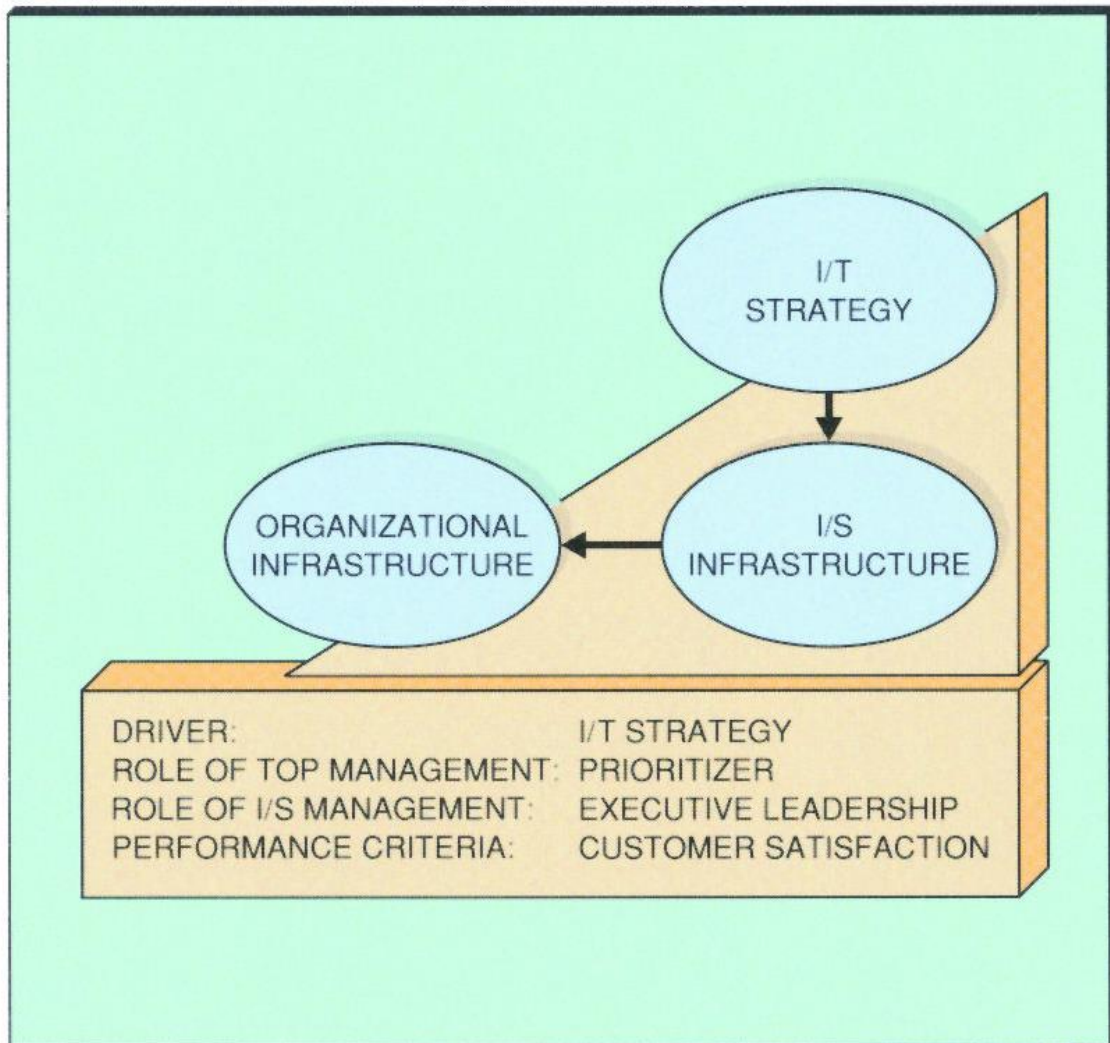


Obrázek 9. IT jako poskytovatel konkurenční výhody [zdroj: [32]].

U tohoto modelu je typické, že dlouhodobě jsou schopny jej využívat jen technologičtí lídři trhu. Pro ostatní organizace je obvykle přechodným modelem, jehož prostřednictvím provedou transformaci *IT infrastruktury* a následně většinou přecházejí na jeden z předchozích modelů.

3.1.4 IT jako garant kvality služeb

Také u posledního, čtvrtého modelu je nositelem změny *IT infrastruktura*. Na rozdíl od třetího ale nemá přímý vliv na *byznys strategii*, jak demonstruje Obrázek 10. Tento model je založený na poskytování služeb s vysokou kvalitou. *IT infrastruktura* je v tomto případě garantem vysoké dostupnosti poskytovaných služeb a schopnosti je dlouhodobě poskytovat prostřednictvím *SLA smlouvy*. *Cloud Computing* reprezentuje formu realizace *IT infrastruktury*. Podobně jako u předchozího modelu je i tento obvykle využíván u technologických společnostech nebo společnostech, které vyžadují robustní vlastní infrastrukturu. Mezi ně patří i organizace, poskytující služby *Cloud Computingu*.



Obrázek 10. IT jako garant kvality služeb [zdroj: [32]].

3.2 Nejistoty plánování IT infrastruktury

Všechny čtyři popsané modely začínají specifikací strategie. A je jedno, zda *byznys* nebo *IT*. Zásadním problémem je, jak prvotní strategii, ze které se odvozuje vše ostatní, stanovit. Existence nejistot okolního prostředí a uvnitř organizace znamená, že organizace musí být schopna rychle a odpovídajícím způsobem na změny reagovat. Jelikož změny mohou nastat kdykoliv během existence organizace, musí strategie reflektovat jak počáteční stav fungování organizace, tak i možné budoucí změny jejího fungování. Za výchozí a klíčový bod se v tomto případě považuje schopnost jasně pojmenovat (adresovat) cíle a požadavky organizace, od kterých se odvodí parametry jak současné, tak i budoucí *IT infrastruktury* a ostatních částí organizace [30].

Protože v praxi je prvotní plánování parametrů *infrastruktury* založeno nejčastěji na odhadech a předchozích zkušenostech, projeví se neschopnost definovat požadavky vysokou mírou nepřesnosti odhadů, což zvláště u nově vznikajících společností může mít fatální dopady [33]. Organizace, která není schopna definovat své požadavky, ztrácí schopnost být *flexibilní* a tím pádem i schopnost konkurovat ostatním.

3.3 Agilita IT infrastruktury

V technické praxi se pojem *flexibilita* často zaměňuje s pojmem *agilita*, která je vyjádřením schopnosti rychle reagovat na měnící se okolní svět [30]. V případě *IT infrastruktury* to znamená schopnost navyšovat nebo ponížovat potřebný výpočetní výkon bez zbytečných nákladů a v co nejkratší možné době. Jak ukazují výzkumy, je *agilita IT infrastruktury*, společně se schopností jednoznačně formulovat požadavky, jádrem konkurenceschopnosti jakékoliv organizace, bez které se neobejde nikdo, kdo chce být na trhu úspěšný [34].

Je třeba si ale uvědomit, že míra *agility* závisí na strategii organizace a jejím zaměření. V některých případech může docházet ke změnám často a požadavků na změnu bude víc, u jiných bude požadavků minimum nebo dokonce nebudou žádné. Zatímco v prvním případě to u *on-premise infrastruktury* znamená vyšší investici do prvotní konfigurace, aby bylo možné v budoucnu jednoduše ji měnit (například přidat paměť nebo pevné disky), ve druhém případě bude možné pořídit levnější a jednodušší komponenty, jejichž výpočetní výkon bude sice limitovaný, ale jsou obvykle levnější. *Cloud Computing* je z tohoto pohledu uchopitelnější, protože není problém jej kdykoliv a bez větších komplikací „pře-konfigurovat“. Ne ve všech případech je ale tako *elasticita* vyžadovaná a z dlouhodobého hlediska využívání *Cloud Computingu* výhodnější než *on-premise infrastruktura*.

3.4 Zhodnocení plánování IT infrastruktury

V této kapitole bylo naznačeno, že výchozím bodem pro plánování *IT infrastruktury* je propojení *byznys* a *IT strategie*. Bez znalosti požadavků a možností organizace není možné plánovat a efektivně provozovat jakoukoliv *infrastrukturu*. Byly představeny celkem čtyři různé modely propojení strategií, přičemž v další části práce budou uvažovány jen první tři modely.

Kapitoly 3.2 a 3.3 naznačily, že *flexibilita (agilita)* znamená obvykle vyšší počáteční investici a ne pro všechny účely je výhodnější použití *Cloud Computingu*. Například z důvodu, že *flexibilita* není vyžadována. Dříve, než se provede rozhodnutí o jejím využití, je tedy vhodné provést analýzu, zda se *Cloud Computing* vyplatí nebo je výhodnější investovat do vlastní *on-premise infrastruktury*. Tím se dostáváme k obecné problematice hodnocení *investičních projektů* a jejich ekonomické stránce.

Této problematice jsou věnovány následující kapitoly 4 - 6. Zvláštní důraz je kladený na metodu *Reálných opcí*, protože je schopna do hodnocení zahrnout jak *flexibilitu*, tak i existenci rizik, které v rámci plánování a realizace jakéhokoliv *investičního projektu* existují. V literatuře ji často lze najít jako doporučenou metodu pro hodnocení projektů, které se těmito parametry vyznačují [30] a současně splňují podmínky, uvedené v kapitole 6.3.

4 Hodnocení investic

Investice a problematika jejich hodnocení jsou nezbytnou součástí fungování jakékoliv organizace, protože jsou pojítkem mezi jejím současným a budoucím stavem. Jak bylo naznačeno v předchozí kapitole 3.4, je náplní hodnocení investic často strategické rozhodování o tom, kterou variantu z nabízených možností realizace projektu vybrat.

Hodnotit investice je možné ze dvou základních pohledů. Ekonomického a neekonomického. Zatímco neekonomický pohled je těžko vyčíslitelný a uchopitelný, tak ekonomický přínos je možné jednoznačně (minimálně zpětně), pomocí různých existujících metod stanovit. Tato disertační práce se zaměřuje na kritérium ekonomické efektivity investice. Investiční rozhodování v tomto případě znamená vyhodnocení, co z ekonomického pohledu realizace investice znamená a zda je realizace pro organizaci přínosem.

Cílem kapitoly je v krátkosti charakterizovat oblast investic, definovat základní pojmy a vstupní parametry, které se pro ekonomické hodnocení projektů obvykle používají. V závěru jsou definovány specifika *IT projektů*, na které je tato práce orientovaná.

4.1 Definice investice

Investici můžeme zjednodušeně chápat jako výdaj, u kterého investor očekává, že se mu v určitém čase vrátí. Dle [35] je investice považována za „*rozsáhlejší peněžní výdaj v očekávání budoucího zisku nebo jiných hodnot v delším časovém období*“. Obdobně investici definuje i [36] „*Investici nelze chápat zúženě jako pouhé vydávání peněz, ale lze ji charakterizovat jako jednorázové (krátkodobě) vynaložené zdroje, které budou přinášet peněžní příjmy během delšího časového období*.“ Za delší časové období se obvykle považuje jeden rok.

Na investice lze pohlížet z různých úhlů pohledu. Například finančního nebo vztahu k rozvoji organizace. Z finančního pohledu rozlišujeme tři základní skupiny investic [37]:

- **Finanční investice** - nejsou běžně vázány na předmět či podnikatelskou činnost a v zásadě se jedná o pouhou majetkovou (nejčastěji pouze peněžní) transakci mezi lidmi. Mezi finanční investice se počítá nákup dlouhodobých cenných papírů, dlouhodobé směnky, akcie, obligace, dlouhodobé půjčky apod.
- **Hmotné investice** - jsou uskutečňovány za účelem výroby nebo rozšiřování výroby organizace. Jedná se například o nákup pozemků, strojů, výrobních zařízení, dopravních prostředků nebo výstavbu nových budov.
- **Nehmotné investice** - vše, co v reálném světě nezaujímá fyzický prostor. Jedná se například o licence, know-how, software, autorská práva, výzkum.

Také podle vztahu k rozvoji organizaci rozlišujeme tři druhy investic [37]:

- **Rozvojové** - zvyšují stávající schopnost organizace produkovat nebo prodávat výrobky, popřípadě služby.
- **Obnovovací** - náhrada zastaralých výrobních zařízení nebo snaha o snížení nákladů při zachování výrobní kapacity.
- **Regulatorní (mandatorní)** - cílem nejsou přímé ekonomické efekty, ale dosažení souladu s existujícími zákony, předpisy a nařízeními upravujícími určité oblasti podnikatelské činnosti. Obvykle jsou většinou zaměřeny na zlepšení pracovního

prostředí a bezpečnosti práce, ochranu životního prostředí, splnění hygienických norem atd.

Tato disertační práce srovnává, zda je výhodnější využít služeb *Cloud Computingu* nebo investovat do vlastní *on-premise infrastruktury*. Z tohoto pohledu se srovnávají *hmotné (on-premise)* a *nehmotné (Cloud Computing)* investice, které jsou zaměřeny na rozvoj nebo obnovu organizace.

4.2 Strategie investování

Investice je spojení mezi současným stavem organizace a jejím budoucím vývojem. Proto investiční rozhodování patří mezi jednu z klíčových činností jakékoliv organizace. Špatné rozhodnutí vede v nejhorším případě ke krachu, v nejlepší případě k výrazně vyšším přínosům, než bylo očekáváno.

Rozhodování o investicích a stanovení cílů investování je podřízeno dlouhodobým strategickým cílům dané společnosti [38]. U ekonomických subjektů je to obvykle maximalizace jejich tržní hodnoty. Investicí lze ale sledovat i další cíle, jako je inovace technologických postupů, expanze do zahraničí nebo rozšíření podílu na trhu. Proto je nutné investice posuzovat podle více kritérií. Především po stránce finanční, technické, organizační a případně dalších aspektů. Podle důležitosti a strategického záměru jsou kritériím přiřazeny různé váhy (nejvyšší mívá obvykle finanční kritérium). Tato práce se zaměřuje na finanční kritéria, do kterých se promítá především flexibilita.

Z pohledu finančního hodnocení je nutné před realizací jakékoliv investice provést dvě klíčová rozhodnutí [38]:

- **Investiční rozhodnutí** - odpovídá na otázku, zda posuzovaná investice dostatečně naplňuje stanovené cíle podniku. Pokud ano, rozhodne se o vynaložení finančních prostředků na realizaci investičního projektu.
- **Finanční rozhodnutí** - provádí se v okamžiku, kdy je rozhodnuto projekt realizovat. Řeší způsoby financování z pohledu finanční stability a efektivity nákladů na zdroje financování.

Pro účely této práce platí předpoklad, že investice dostatečně naplňuje cíle a v rámci finančního rozhodnutí se porovnávají dvě různé varianty řešení.

4.3 Realizace investice

V okamžiku, kdy je rozhodnuto o realizaci investice, začíná se s přípravou, po které následuje samotná realizace projektu. Prvním krokem bývá vypracování *investičního projektu*. Jedna z definic říká, že „*investiční projekt je definován jako soubor technických a ekonomických studií sloužících k přípravě, realizaci, financování a efektivnímu provozování navrhované investice*“ [35]. Samotnou realizaci investičního projektu dělíme nejčastěji na čtyři fáze [35]:

- **Předinvestiční fáze** – fáze, která je zaměřená na přípravu *investičního záměru*. Je základem úspěšnosti investice a naplnění očekávaných přínosů.
- **Investiční fáze** – v této fázi se projekt realizuje. Na rozdíl od předchozí fáze, která je založena na schopnosti odhadnout budoucnost organizace a dostatku kvalitních informací, je pro tuto fázi důležitá schopnost dodržet plánované parametry investice. Především čas, výstupy (kvalitu) a rozpočet.

- **Provozní fáze** - nejdelší fáze z celého životního cyklu investičního projektu. Fáze se skládá z uvedení projektu do provozu, následného provozování a údržby. Součástí této fáze by měla být průběžná kontrola a vyhodnocování úspěšnosti.
- **Ukončení projektu** – závěrečná fáze, v rámci které se řeší likvidace projektu. Patří sem demontáž zařízení a jejich odprodej za zbytkovou cenu, prodej nevyužitých zásob nebo například ekologické sanace lokality.

Tato práce je zaměřená na první, *předinvestiční fázi*. Konkrétně na vyhodnocení různých alternativ vybudování a provozování IT infrastruktury, včetně případného možného ukončení. Hodnotí se především *flexibilita* řešení v období *provozní fáze* a částečně zvažuje i *fáze ukončení projektu*.

4.4 Vstupy investičního projektu

Vstupem do tvorby *investičního projektu* je řada různých parametrů. Protože se tato práce zaměřuje na ekonomickou část projektu, jsou důležité parametry, na základě kterých lze vypočítat finanční výhodnost investice. Ta je obvykle založena na porovnání výnosů a nákladů za definované časové období, obvykle životnost projektu. Dalšími vstupními parametry, které jsou důležité pro tuto práci, jsou časová hodnota peněz a flexibilita.

4.4.1 Životnost projektu

Projekt se téměř vždy plánuje na konkrétní časové období, které lze definovat různým způsobem. Může to být fyzická životnost zdrojů, do kterých investujeme a které jsou prostředkem příjmů v *provozní fázi* projektu. Obdobně můžeme uvažovat ekonomickou životnost. Jiným pohledem na životnost může být doba trvání *provozní fáze* projektu. Na rozdíl od fyzické životnosti může být trvání *provozní fáze* měněno dle aktuální situace a výhledu do budoucna. V případě krize může být zkrácena, v případě konjunktury naopak prodloužena. Pro účely této práce budeme kombinovat fyzickou životnost použitých zdrojů a dynamické prodlužování / zkracování *provozní fáze* projektu.

4.4.2 Náklady projektu

Realizace každého projektu je spojena s vynaložením finančních (nejen) zdrojů (náklady) v libovolné jeho fázi. Náklady můžeme dělit dvěma způsoby. Prvním z nich jsou *kapitálové náklady (CAPEX)*, které znamenají *investiční náklady*, za kterými se obvykle skrývá pořízení nového zdroje, jako je budova, stroj, hardware nebo software. Investovat lze nejen na počátku projektu, ale kdykoliv během jeho životnosti. Druhou kategorií nákladů jsou *provozní náklady (OPEX)*, které jsou *neinvestiční*. Obvykle se jedná o služby, do kterých investujeme v libovolné fázi projektu.

Každý typ nákladů má své výhody a nevýhody. Z pohledu *Cloud Computingu* se vynakládají jen *provozní náklady*, protože zdroje si pronajímáme, zatímco u *on-premise infrastruktury* se vynakládají také *kapitálové náklady*, protože je nutné zdroje pořídit. Pro některé organizace je výhodnější naplánovat a provést jeden větší jednorázový nákup zdrojů na počátku a následně podle potřeby v budoucnu provádět menší nákupy. Jiné organizace preferují pravidelné průběžné menší platby bez nutnosti řešit majetkové otázky. V práci jsou kombinovány oba typy výdajů.

4.4.3 Výnosy projektu

Dle definice jsou *investice* realizovány především za účelem budoucích zisků (získaných z výnosů investice) [35], [36]. Pro hodnocení úspěšnosti investice je tedy nutné znát výnosy, které investice minimálně v *provozní fázi* projektu přinese. V případě, že je projekt schopen generovat výnosy i v jiných fázích, mohou se při započtení všech nákladů započítat i tyto výnosy. Vždy se ale počítají výnosy za celou životnost projektu.

Stanovení všech výnosů, především těch ve vzdálenější budoucnosti, není jednoduchý úkol, protože jak prostředí, tak samotná organizace, která investici plánuje, se mění. Správné naplánování vyžaduje zkušenost a znalost prostředí, což v praxi znamená, že je nezbytnou součástí plánování *byznys strategie* organizace. Pro účely této práce jsou jak výnosy, tak i náklady odhadovány intuitivně. Není nutná znalost absolutních hodnot, ale jejich poměr.

4.4.4 Časová hodnota peněz

Vzhledem k tomu, že *investice* a jejich *provozní fáze* jsou plánovány na delší období, například životnost hardware bývá obvykle tři až pět let, je nutné při hodnocení nákladů a výnosů projektu uvažovat časovou hodnotu peněz. Ta se obvykle vyjadřuje prostřednictvím *diskontu*, jehož prostřednictvím lze budoucí výdaje přepočítat na současnou hodnotu. Hodnotu *diskontu* lze spočítat pomocí různých metod, například WACC, která je popsána v kapitole 5.2.5. Někdy se použije hodnota z podobného projektu nebo je definována zadavatelem projektu. V případě této práce a s ohledem na použitou metodu *Reálných opcí* budeme místo *diskontu* používat *bezrizikovou úrokovou míru* (viz stanovení vstupních předpokladů v kapitole 9), která na rozdíl od *diskontu* nezahrnuje žádné riziko a je založena na výnosové míře z krátkodobých státních pokladničních poukázek. Zhodnocení investice je sice nižší, ale dá se považovat za stabilní a lze jej stanovit jednoduše.

4.4.5 Flexibilita projektu

O žádné organizaci ani jejím okolí nelze prohlásit, že budou v budoucnosti (krátkodobé i dlouhodobé) stabilní. Proto by měl každý *investiční projekt* v sobě obsahovat alespoň minimální míru *flexibility*. Ať již v podobě zmiňované možné změny délky životnosti investice nebo možnosti navýšit nebo snížit náklady. Stejně tak je nutné umět reagovat na snížení nebo zvýšení výnosů organizace.

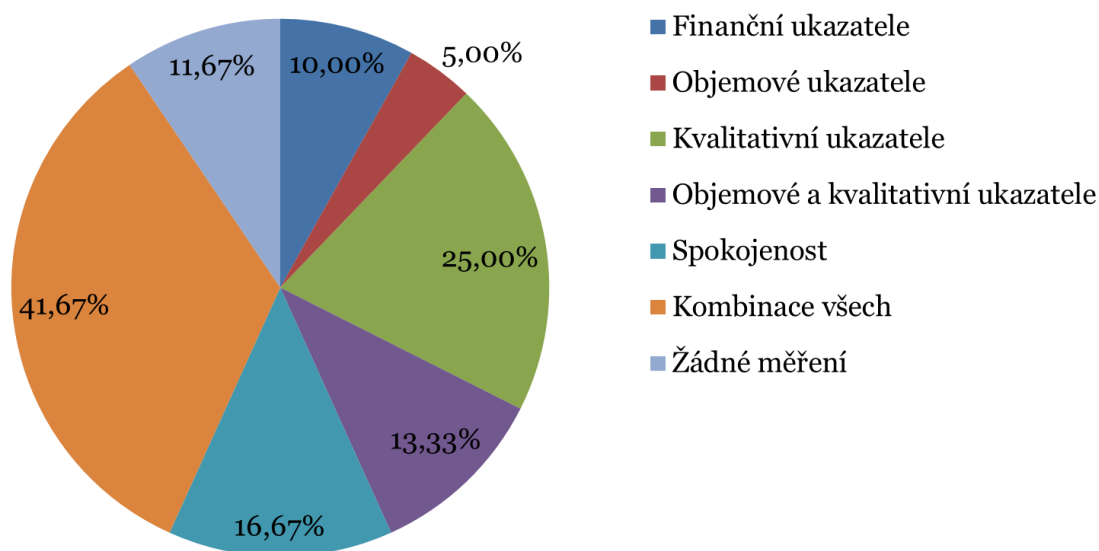
Důvody pro popsané změny v projektech jsou obvykle důsledkem existence *rizik* a *nejistot*, se kterými je jakýkoliv projekt spojený. Ta mohou být jak pozitivní (například výnosy jsou vyšší, než organizace očekávala) nebo negativní (výnosy jsou nižší, než organizace očekávala) a každá organizace s nimi musí umět pracovat. Například tak, že navýší zdroje pro pokrytí vyšších požadavků nebo je naopak v případě, že nejsou nutné, poníží. Ohodnocení *rizik* a *flexibility* IT investic je jádrem této disertační práce.

4.5 IT investice

Způsoby hodnocení efektivity a práce s investicemi se liší pro různé oblasti zaměření (segmenty působnosti) organizace. Před uvedením a srovnáním finančních metod hodnocení investic je vhodné si stanovit kritéria, důležitá pro segment *IT technologií*, na které je tato práce zaměřená. Společnost Gartner považuje IT investici za efektivní jen v případě, když vedení organizace [39]:

- Váže investice do IT na očekávané a dosažené zlepšení v byznysu a ve finančních ukazatelích.
- Stále sleduje změny v IT a také možnosti využití pro další zlepšování podnikových procesů.
- Pamatuje, že IT nejsou samotným cílem, ale potřeba nových IT je definovaná hlavním byznysem společnosti, a že IT jsou zaváděny právě pro podporu podnikových procesů, automatizaci, zjednodušování práce uživatelů a pomoc při sledování stavu společnosti.

Kritéria potvrzují nutnost propojení *IT* a *byznys strategie*, jak bylo popsáno v kapitole 3.1. Vzhledem k tomu, že nejdůležitějším posláním IT služeb je celková integrace vlastních výhod a funkcí do byznysu organizace, musí veškeré procesy IT oddělení vycházet ze základní strategie organizace a podporovat ji. Z tohoto důvodu musí být při hodnocení efektivnosti *IT investic* známy nejen náklady na *investici*, ale také benefity (například výnosy), které organizace díky *investici* získala. Přestože se tato práce zaměřuje na finanční benefity, jsou v případě *IT investic* v praxi používána spíše jiná kritéria. Jak plyne například z výzkumu [40], který demonstuje Obrázek 11, používá finanční ukazatele jen cca. 10% respondentů výzkumu⁷.



Obrázek 11. Ukazatelé hodnocení přínosů IT v rámci České republiky [zdroj: [40]].

Z obrázku vyplývá, že ve většině případů jsou používáni ukazatele, které IT oddělení umí vyhodnotit samo. Například mezi *objemové ukazatele* lze zařadit počty uživatelů nebo zpracovaných dokumentů, mezi *kvalitativní* dobu odezvy nebo dostupnosti aplikace. Tyto údaje nemá IT oddělení problém zjistit a prezentovat. Zajímavým ukazatelem je *spokojenost* (uživatelů nebo zákazníků), která je ukazatelem subjektivním, ale ve svém důsledku může mít zásadní dopad na *finanční* ukazatele. Necelých 12% účastníků výzkumu žádné přínosy IT neměřila.

⁷ Přestože byl výzkum prováděn k roku 2010, dá se očekávat, že aktuální stav je obdobný. Jedním z důvodů nepoužívání finančních ukazatelů je jejich neznalost a neschopnost je zpracovat lidmi bez ekonomického vzdělání, kterými zástupci IT oddělení obvykle jsou.

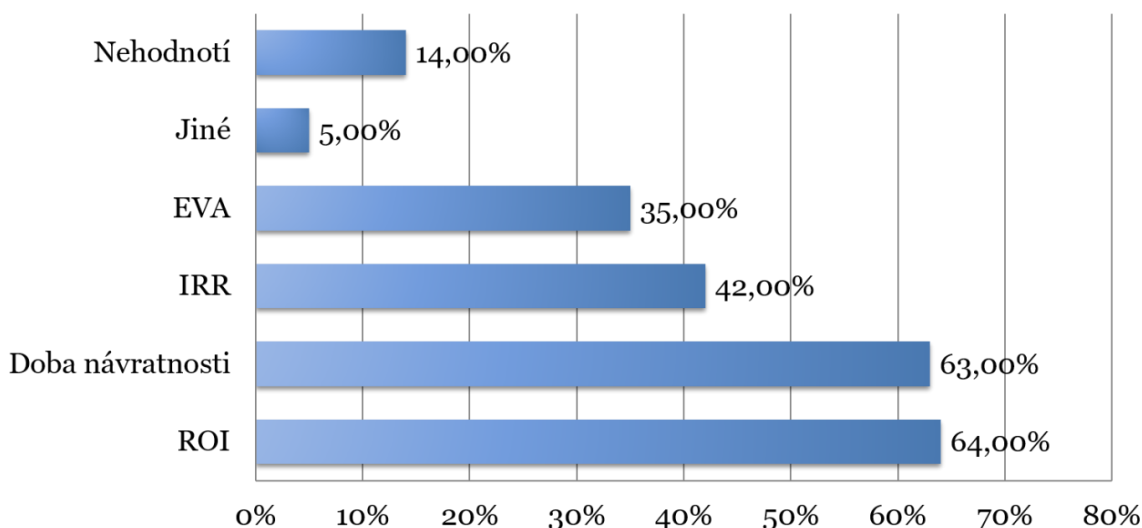
4.6 Zhodnocení problematiky investic

Cílem této kapitoly bylo vymezit pojem *investice* a definovat, na jaké její části je zaměřená tato disertační práce. Protože jádrem práce je rozhodování o ekonomické výhodnosti různých variant projektu, byly také specifikovány vstupní parametry, požadované pro finanční hodnocení jak pomocí metod, které jsou představeny a vyhodnoceny v následující kapitole, tak i nové metodě, navržené ve druhé části práce.

5 Finanční metody hodnocení investic

Přestože hodnocení IT investic, jak bylo naznačeno v kapitole 4.5, není z pohledu IT oddělení obvykle hodnoceno přímo pomocí finančních ukazatelů, je finální rozhodnutí na úrovni vedení celé organizace provedeno téměř vždy pomocí některého z kritérií (metod), která jsou popsána v této kapitole. Cílem kapitoly není detailně popsat všechny existující metody, ale představit jen ty nejznámější, které se dají jednoduše použít i lidmi bez ekonomického vzdělání a na kterých se dá poukázat na klíčové principy finančních metod hodnocení investic. V závěru kapitoly jsou metody porovnány a vyhodnoceny z pohledu využití vstupů, definovaných v kapitole 4.4.

Dle výzkumu [41]⁸, jsou vybrané a popsané metody, jak zobrazuje Obrázek 12, oblíbené i mezi finančními řediteli (CFO). Výjimku tvoří metoda EVA, která patří mezi složitější. Je založená na rozdílu dosaženého čistého provozního zisku a celkovými náklady na kapitál, což mimo jiné znamená, že je nutné znát náklady vlastního kapitálu [38]. To jsou znalosti, které často nemá ani vedení organizace a proto je použití tohoto kritéria u IT projektů používáno minimálně nebo téměř vůbec⁹.

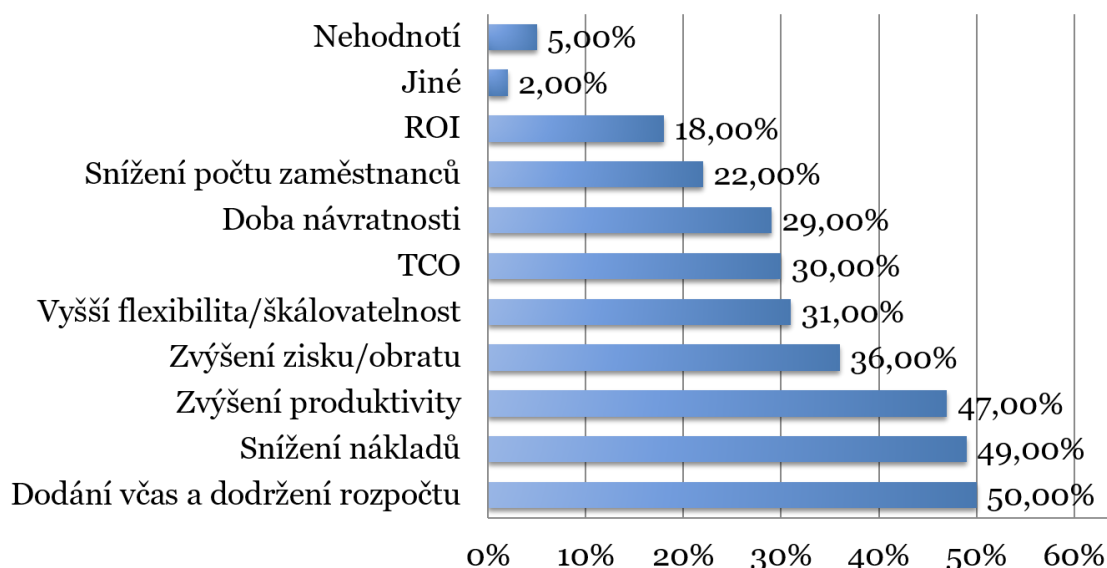


Obrázek 12. Finanční metody, používané finančními řediteli [zdroj: [41]].

Mimo ukazatele EVA se tedy jedná o metody, které nejsou náročné na výpočet a není nutné do nich doplňovat další vstupy, nad rámec vstupů, popsanych v kapitole 4.4. Zajímavé je porovnat tyto metody s metodami, které nejčastěji používají vedoucí pracovníci IT oddělení (CIO). Výzkum [41] potvrzuje výzkum [40] a částečně jej upřesňuje uvedením konkrétních metod finančního hodnocení investic. Konkrétní výstupy výzkumu mezi CIO ukazuje Obrázek 13. Je vidět, že se používají především kvalitativní a objemové ukazatele.

⁸ Podobně jako výzkum [40], je i tento staršího data, ale současná realita se od něj opět mnoho neliší. Výjimkou bude ukazatel *snížení počtu zaměstnanců*, který nebude v současné době (doba vzniku disertační práce), která je typická velkým převisem poptávky po zaměstnancích nad nabídkou, aktuální. Tento ukazatel se bude spíše transformovat do ukazatele *automatizace činností*, které nemusí nutně vykonávat zaměstnanci.

⁹ Pro účely této práce nejsou tyto komplexní metody uvažovány, a proto nejsou ani dále popisovány.



Obrázek 13. Finanční metody, používané řediteli IT oddělení [zdroj: [41]].

Z finančních ukazatelů, které jsou náplní této kapitoly, jsou v přehledu uvedeni ukazatele *ROI* a *TCO*. Především u ukazatele *TCO* nejde o žádné překvapení, protože výpočet tohoto parametru lze provést jen v rámci IT oddělení, bez nutnosti jakékoliv spolupráce s ostatními částmi organizace. V dalších podkapitolách se podíváme na tyto a jim podobné ukazatele. Předtím ale v krátkosti, podobně jako je tomu v [42], shrneme obecné ekonomické termíny.

5.1 Definice základních ekonomických pojmů

Pro sjednocení chápání a významu ekonomických pojmů, použitých v dalších částech práce, jsou v této kapitole popsány jejich definice. Popis vychází ze [42] a byl vypracovaný, podobně jako je tomu u popisu jednotlivých metod v dalších kapitolách, ze základní ekonomické literatury. Konkrétně se jedná o následující pojmy¹⁰:

- **Náklad** – z finančního pohledu se jedná o úbytek ekonomického prospěchu, který se projevuje poklesem aktiv nebo přírůstkem dluhů a který vede v rozhodném období ke snížení vlastního kapitálu, avšak v budoucím období je předpokládáno dosažení ekonomického prospěchu. Z pohledu manažerského účetnictví je za náklad považováno účelové vynaložení ekonomických zdrojů podniku, které účelově souvisí s jeho ekonomickou činností a splňuje dvě základní podmínky: účelnost a účelový charakter.
- **Výdaj** – úbytek majetku bez vazby na konkrétní výkon(y), například splátka bankovního úvěru z běžného účtu. V případě této práce za výdaj považujeme skutečné zaplacení.
- **Výnos** – finanční ohodnocení výkonů, které podnik získal z veškerých svých činností za určité období bez ohledu na to, zda v tomto období došlo jejich úhradě.
- **Příjem** – představuje finanční plnění za prodané produkty v podobě příjmu finančních prostředků do pokladny nebo na bankovní účet.
- **Výsledek hospodaření (dříve hospodářský výsledek)** – rozdíl mezi výnosy a náklady. Jeho výsledkem může být zisk v případě, že výnosy převáží nad náklady,

¹⁰ Definice pojmů byla plně převzata z [42].

nebo ztráta v případě, kdy naopak výnosy nepokryjí veškeré vynaložené náklady. Hospodářský výsledek je vždy zjišťován za určité období.

5.2 Rozdělení metod finančního hodnocení investic

Jednoduché metody hodnocení investic lze rozdělit do dvou typů, na statické a dynamické [43]. Pro statické je typické, že v sobě nezahrnují faktor času a *rizika*. Výhodou je jednoduchost a rychlost jejich použití. Patří sem metody *Payback period*, *ROI*, *TCO* a *TVO*. Dynamické metody v sobě faktor *rizika* a času zahrnují. Mezi tyto metody patří *NPV*, *IRR* a *Profitability Index*. V praxi se lze setkat i s různými kombinacemi statických a dynamických přístupů. Například *Discounted Payback Period* nebo *Discounted ROI*. Tyto metody jsou, podobně jako pokročilejší metody, zmíněny jen okrajově. Z přehledu metod je také vyčleněna metoda *Reálných opcí*, které je, vzhledem k jejímu použití ve druhé části této disertační práce, věnována samostatná kapitola 6.

5.2.1 Payback Period

Payback Period (*doba návratnosti*, *PP*) je nejjednodušší z popisovaných metod. Je založena na výpočtu doby, za kterou se kumulativní budoucí příjmy, plynoucí z projektu, vyrovnají počáteční investici, vložené do realizace projektu. Čím je tato doba kratší, tím výhodnější investice je. Nevýhodou metody je zanedbávání výnosů, které mohou nastat po době splacení a nezohlednění časového rozprostření výnosů během splacení. Časová hodnota peněz se zanedbává. Pro výpočet se obvykle používá vzorec (1) [42].

$$PP = \frac{\text{náklady projektu}}{\text{roční Cash Flow}} \quad (1)$$

Vstupními parametry jsou **celkové náklady**, které byly do projektu investovány a **průměrný roční peněžní tok (Cash Flow)**, který díky realizaci projektu organizace realizovala. Na rozdíl od nákladů může být stanovení ročního *Cash Flow* problémem, a proto se často jen odhaduje. Výstupem je hodnota *PP*, která v letech udává, kdy jsou splaceny náklady projektu. Cílem hodnocení různých variant projektu je vybrat tu, která má *PP* nejmenší. V některých případech, zvláště při použití různých ročních peněžních toků, je možné se setkat při výpočtu *PP* se vztahem, popsáním vzorcem (2).

$$\sum_{t=0}^{PP} CF_t \geq 0 \quad (2)$$

5.2.2 Return on Investment

Také metoda *Return on Investment* (*návratnost investice*, *ROI*) patří pro svou jednoduchost mezi oblíbené a používané metody. Je založena na poměrném srovnání výnosů a nákladů. Zatímco metoda *PP* počítala, za jak dlouho se investice vrátí, metoda *ROI* jako jeden ze vstupních parametrů vyžaduje stanovení doby, v rámci které vyhodnocení provádíme. Obvykle se pro tyto účely používá vstupní parametr *životnost projektu*. Na rozdíl od metody *PP* metoda také reflektuje různé časové rozprostření výnosů během doby hodnocení. Nereflektuje ale cenu peněz. Pro výpočet se obvykle používá vzorec (3) [43].

$$ROI = \frac{\frac{\sum_{t=0}^T CF_t}{T}}{|CF_0|} \quad (3)$$

Vstupními parametry jsou doba \mathbf{T} , pro kterou návratnost hodnotíme a peněžní toky \mathbf{CF}_t za jednotlivé roky t během doby \mathbf{T} . Hotovostní tok \mathbf{CF}_0 v roce nula obvykle reprezentuje počáteční investici. Vypočítaná hodnota se často převádí na procenta. V případě, že je výsledná hodnota nižší než nula, není investice výhodná. Při hodnotě rovné nule výnosy z investice pokryjí náklady a při vyšších hodnotách než nula, je investice zisková. Při hodnocení více variant projektu se vybírá ta, která má hodnotu ROI nejvyšší a nejvíce investici zhodnocuje.

5.2.3 Total Cost of Ownership

Další metodou, která patří mezi jednoduché a současně i uchopitelné lidmi bez ekonomického vzdělání je metoda *Total Cost of Ownership* (celkové náklady na vlastnictví, TCO). Její velkou výhodou je skutečnost, že je založena jen na výpočtu veškerých nákladů, vynaložených v průběhu doby *životnosti investice*, popřípadě v hodnoceném období. Čím jsou náklady nižší, tím výhodnější investice je. Zahrnuje jak pořizovací, tak provozní (někdy označované operativní) náklady. Podobně jako předchozí metody opomíná časovou hodnotu peněz. Pro výpočet se obvykle používá vzorec (4) [44].

$$TCO = \sum_{t=0}^T C_t \quad (4)$$

Vstupními parametry jsou doba \mathbf{T} , pro kterou návratnost hodnotíme (nejčastěji životnost investice) a \mathbf{C}_t (náklady) za jednotlivé roky t během doby \mathbf{T} . Náklady v roce nula obvykle reprezentují počáteční investici. Při hodnocení více variant projektu se vybírá ta, která má hodnotu TCO nejnižší.

5.2.4 Total Value of Ownership

Vylepšením metody TCO je metoda *Total Value of Ownership* (*Total Cost of Opportunity*, celková hodnota vlastnictví, TVO), která mimo nákladů hodnotí také přínosy projektu, vyjádřené nejčastěji v podobě výnosů projektu. Na rozdíl od metody TCO se hodnotu TVO snažíme maximalizovat. Pro výpočet se obvykle používá vzorec (5) [45].

$$TVO = \sum_{t=0}^T R_t - C_t \quad (5)$$

Vstupními parametry jsou doba \mathbf{T} , pro kterou hodnotu vlastnictví hodnotíme (nejčastěji životnost investice), \mathbf{C}_t (náklady) a \mathbf{R}_t (výnosy) za jednotlivé roky t během doby \mathbf{T} . Náklady v roce nula obvykle reprezentují počáteční investici. Při hodnocení více variant projektu se vybírá ta, která má hodnotu TVO nejvyšší.

5.2.5 Diskontní míra

Výhodou statických metod je především jejich jednoduchost. Nevýhodou pak především fakt, že neberou v úvahu faktor času a nezohledňují *rizika* investice. *Dynamické metody* řeší tento problém použitím *diskontní míry* (*diskont*), která tyto aspekty zohledňuje.

Diskontní míra (dále jen *diskont*) slouží pro přepočítávání nákladů, výnosů a peněžních toků investičních projektů na stejnou časovou bázi, kterou bývá obvykle rok pořízení [37]. Samotné stanovení *diskontu* není triviální záležitost. Jednou z možností stanovení hodnoty *diskontu* je použití metody průměrných vážených nákladů na kapitál $WACC$ (vzorec (6)) [46].

$$WACC = r_d \cdot (1 - t) \times \frac{D}{C} + r_e \times \frac{E}{C} \quad (6)$$

Vypočtená hodnota *WACC* (*Weighted Average Cost of Capital*) představuje vážený průměr nákladů organizace na použité zdroje kapitálu. Vstupními parametry jsou úroková míra z cizího kapitálu (r_d), výnos vlastního kapitálu (r_e), sazba daně z příjmu t , úročený cizí (D) a vlastní (E) kapitál, přičemž platí, že $C = D + E$.

Zákonitosti kapitálového trhu zajišťují, že *diskont* se příliš neliší od výnosnosti investic se stejným rizikem. Pokud je riziko vyšší, je potřeba do *diskontní sazby* (vzorec (6)) započítat rizikovou přírážku.

V této práci, jak bylo uvedeno v kapitole 4.4.4, je *diskont* nahrazen *bezrizikovou úrokovou mírou*, která se odvozuje ze sazeb a výnosů cenných papírů, které jsou pokládány za bezrizikové. V praxi se jedná převážně o pokladniční poukázky a dluhopisy emitované státem [47]. V následujících kapitolách jsou stručně popsány v praxi obvykle používané *dynamické metody*, které hodnoty *diskontu* při výpočtu používají.

5.2.6 Net Present Value

Metoda *Net Present Value* (*čistá současná hodnota, NPV*) patří mezi nejčastěji používané *dynamické* metody hodnocení investic. Jedná se o ukazatel, který počítá s peněžními toky za stanovené období. Metoda je často používaná proto, že je poměrně snadná a výsledek lze zjistit rychle. Čím je výsledná hodnota *NPV* vyšší, tím je investice výhodnější. Nevýhodou metody je nutnost stanovení toku peněz. Výpočet probíhá podle vzorce (7) [46].

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (7)$$

Vstupními parametry jsou doba T , pro kterou návratnost hodnotíme a peněžní toky CF_t za jednotlivé roky t během doby T . Hotovostní tok CF_0 v roce nula obvykle reprezentuje počáteční investici. Vypočítaná hodnota udává, kolik peněz navíc nad investovanou částku investice přinese. V případě, že je výsledná hodnota nižší než nula, není investice výhodná. Při hodnocení více variant projektu se vybírá ta, která má hodnotu *NPV* nejvyšší.

5.2.7 Internal Rate of Return

Metoda *vnitřního výnosového procenta* (*Internal Rate of Return, IRR*) je podobná metodě *NPV* a často je využívána jako její doplněk. Udává relativní výnos (rentabilitu), který investice během svého životního cyklu vyprodukuje. Číselně odpovídá hodnota *IRR diskontní sazby*, při které je hodnota *NPV* rovna nule. Metoda je náročná na výpočet, často se postupuje metodou pokus omyl nebo se využívají funkce, zabudované v různých nástrojích (například Microsoft Excel). Na rozdíl od jiných metod může být, s ohledem na hotovostní toky, výstupem jedna hodnota, více hodnot nebo žádná hodnota. Základem výpočtu hodnoty *IRR* je vzorec (8) [46].

$$\sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (8)$$

Vstupními parametry jsou doba T , pro kterou návratnost hodnotíme a peněžní toky CF_t za jednotlivé roky t během doby T . Hotovostní tok CF_0 v roce nula obvykle reprezentuje počáteční investici. Výslednou hodnotu *IRR* srovnáváme s hodnotou *diskontu*, kterou bychom použili při výpočtu hodnoty *NPV*. V případě, že je výsledná

hodnota nižší než stanovená hodnota *diskontu*¹¹, není investice výhodná. Projekty jsou akceptovatelné, pokud vyjde hodnota *IRR* vyšší než je stanovená hodnota *diskontu* a čím vyšší ukazatel vyjde, tím lepší je efektivnost investice. Při hodnocení více variant projektu se vybírá ta, která má hodnotu *IRR* nejvyšší.

5.2.8 Profitability Index

Profitability Index (index ziskovosti, PI) je relativní ukazatel, který reprezentuje poměr výnosů a počátečních kapitálových výdajů. Investice je výhodná, pokud je hodnota *PI* větší než jedna. Poskytuje stejné výsledky jako metoda *NPV* a ukazatel bývá často používán jako její doplněk. Pokud je hodnota *NPV* vyšší než nula, je index ziskovosti vyšší než hodnota jedna. V tomto případě je vhodné projekt realizovat. Pro výpočet se používá vzorec (9) [46].

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t}}{IN} \quad (9)$$

Vstupními parametry jsou doba **T**, pro kterou návratnost hodnotíme a peněžní toky **CF_t** za jednotlivé roky $t \geq 1$ během doby **T**. Hodnota **IN** reprezentuje počáteční kapitálovou investici. Čím vyšší je výsledná hodnota *PI*, tím víc je projekt ekonomicky výhodnější. Index ziskovosti je vhodné použít například v situaci, pokud stojí organizace před rozhodnutím, který z investičních projektů upřednostnit před ostatními.

5.2.9 Další metody hodnocení investic

Jak bylo uvedeno v úvodu této kapitoly, není výčet popsanych metod úplný. Chybí především komplexní metody, které jsou založeny na vícekritériálním hodnocení. Například hodnotí výkonnost podniku (metoda *EVA - Economic Value Added*) nebo výkonnost firmy (metoda *MVA - Market Value Added*). Populární je také metoda *Balanced Scorecard*. Samostatnou kapitolou jsou různé modifikace výše popsanych metod. Pokud do statických metod zaneseme princip diskontování budoucích toků, můžeme počítat například diskontovanou dobu návratnosti (*Discounted Payback Period*).

5.3 Srovnání metod hodnocení investic

Při srovnání metod je třeba vždy reflektovat potřeby, pro které chceme vybrané metody použít. Platí, že pro všechna srovnání nemusí vyjít vždy jako nejlepší (nejvhodnější) stejná metoda. Tato práce metody porovnává na základě způsobu aplikace vstupních parametrů, definovaných v kapitole 4.4 a výstupem porovnání je Tabulka 1.

Aplikace vstupních parametrů je u každé metody vyznačena symbolem ○ v případě, že metoda daný vstupní parametr vůbec nepoužívá, symbolem ◐ v případě, že jej využívá nepřímo a symbolem ● v případě, že jej pokrývá plně.

Ze srovnání jednotlivých metod vyplývají následující závěry:

- Náklady jsou započítány ve všech metodách,
- metoda *TCO* nezapočítává výnosy,

¹¹ Použit lze i jinou hodnotu, která reprezentuje zhodnocení peněz, které plánujeme vložit do posuzovaného projektu

- časová hodnota peněz je dle očekávání započítána jen u dynamických metod,
- životnost se u metod *PP*, *TCO* a *TVO* počítá, na rozdíl od ostatních metod, nepřímo a je skrytá v položce nákladů,
- flexibilitu do výpočtu nezahrnuje žádná z metod.

Tabulka 1. Výstupy porovnání metod finančního hodnocení investic [zdroj: vlastní].

Metoda	Životnost	Náklady	Příjmy	Časová hodnota peněz	Flexibilita
PP	○	●	●	○	○
ROI	●	●	●	○	○
TCO	○	●	○	○	○
TVO	○	●	●	○	○
NPV	●	●	●	●	○
IRR	●	●	●	●	○
PI	●	●	●	●	○

Z hlediska pokrytí vstupních parametrů se jako nejlepší jeví *dynamické metody*, které plně pokrývají všechny vstupní parametry mimo *flexibility*. Tu by do nich šlo zahrnout například tak, že by se pro různé možné scénáře vývoje organizace počítaly různé výstupní hodnoty metod a ty by se následně, například pomocí definovaných vah, spojily do jedné výsledné hodnoty. Vzhledem k tomu, že scénářů může být velké množství a s prodlužujícím se obdobím (životností) jejich počet výrazně narůstá, nejeví se tento způsob zpracování *flexibility* jako reálně použitelný.

Možným řešením, na kterém staví tato disertační práce, je použití metody *Reálných opcí*, která parametr *flexibility* do výpočtu zahrnuje a je detailně popsána v 6. kapitole.

5.4 Praktické využití metod finančního hodnocení Cloud Computingu

V rámci, autorem této práce, provedené rešerše dostupných zdrojů, popsané v kapitole 7, bylo při hledání metod, spojovaných s *Cloud Computingem*, identifikováno, že většina organizací, pokud nějaké hodnocení provádí, zjednodušuje své úvahy na to, že investice do IT je jednou z položek nákladů a je zahrnuta do ukazatele celkových nákladů na vlastnictví *TCO* [48], [49], [50]. Snahou autorů těchto článků bylo vytvořit obecný nákladový model, který umožní srovnat celkové náklady *Cloud Computingu* a odpovídajícího *on-premise* řešení. Tento výstup potvrzuje oblíbenost metody *TCO* u pracovníků IT oddělení, jak bylo zmíněno v úvodu této kapitoly.

V souvislosti s ekonomikou *Cloud Computingu* se zdůrazňuje především přesun nákladů z kategorie *CAPEX* do kategorie *OPEX*. A to i přesto, že například [51] v rámci vhodných a doporučených metod hodnocení zmiňuje nejen *TCO*, ale také *PP*, *ROI*, *NPV*, *IRR* a komplexní metodu *EVA*. Výjimkou je například [52], kde je použita metoda *ROI* a autoři se snaží vytvořit univerzální model, který hodnotí nejen změny v nákladech na provoz *IT infrastruktury*, ale také vyčíslit přínosy, které organizace použitím *Cloud*

Computingu může získat. A to včetně vlivu na zisk. Jednu z prvních zmínek, která má vazbu na metodu *Reálných opcí* a je pomyslným přechodem k této problematice, lze nalézt v [53], kde je uváděna pod názvem *ENPV (Expanded Net Present Value)*. Jedná se o modifikaci metody *NPV* dle vzorce (10):

$$ENPV = NPV + \text{Hodnota flexibility} \quad (10)$$

Modifikace spočívá ve vyčíslení a přičtení hodnoty *flexibility* k vypočítané hodnotě *NPV*. Zahrnutím *hodnoty flexibility* do výpočtu *NPV* je možné i nevýhodné projekty přesunout do oblasti výhodných. Typicky se tak lze dívat na většinu *investičních záměrů* začínajících (*start-up*) společností.

Z pohledu poskytovatelů *Cloud Computingových* služeb jsou konzumentům pro posouzení investice téměř vždy nabízeny dvě varianty, které umožňují získat představu buď o celkových nákladech (*TCO*) využívání *Cloud Computingu* dle požadované konfigurace nebo provést srovnání s provozem *on-premise infrastruktury*. Pro představu je uvedeno několik ukázek vybraných konfigurátorů, které umožňují toto hodnocení provést.

Jako první je uvedený konfigurátor, srovnávající *TCO Cloud Computingu* a *on-premise infrastruktury*, produktu Azure společnosti Microsoft. Obrázek 14 ukazuje, že má dvě části. V první (záložka „Inputs“) se zadává požadovaná konfigurace. Výhodou konfigurátoru je, že si lze jednoduše navolit několik různých konfigurací a následně, na základě odhadu nebo předchozích zkušeností, vybrat konfiguraci, která se konzumentovi jeví být optimální z hlediska poměru cena / výkon. Díky vlastnostem *Cloud Computingu* není problém tuto konfiguraci změnit i kdykoliv během provozu.



Nucleus Research Certified

The underlying calculations in this total cost of ownership assessment tool have been independently reviewed and tested by Nucleus Research for accuracy and transparency. Nucleus Research certifies that this tool is built on accurate calculations that generate a fair assessment of actual value a customer will achieve given the data entered.

[Contact Us](#) [Feedback](#) [Trademarks](#) [Privacy & Cookies](#) [Terms of use](#)

Microsoft
© 2017 Microsoft

Obrázek 14. Konfigurace Cloud Computingu Microsoft Azure [zdroj: [54]].

Druhá záložka („Assumptions“) obsahuje parametry pro vytvoření odpovídající *on-premise infrastruktury*. Její obsah zkráceně popisuje Obrázek 15.

The screenshot shows the 'Assumptions' tab of the Microsoft Azure TCO Calculator. It is divided into two columns of hardware configurations. The left column lists configurations with their costs, and the right column lists configurations with their costs. A 'Virtual Machine density' input is set to 2. A 'Calculate' button is at the bottom right.

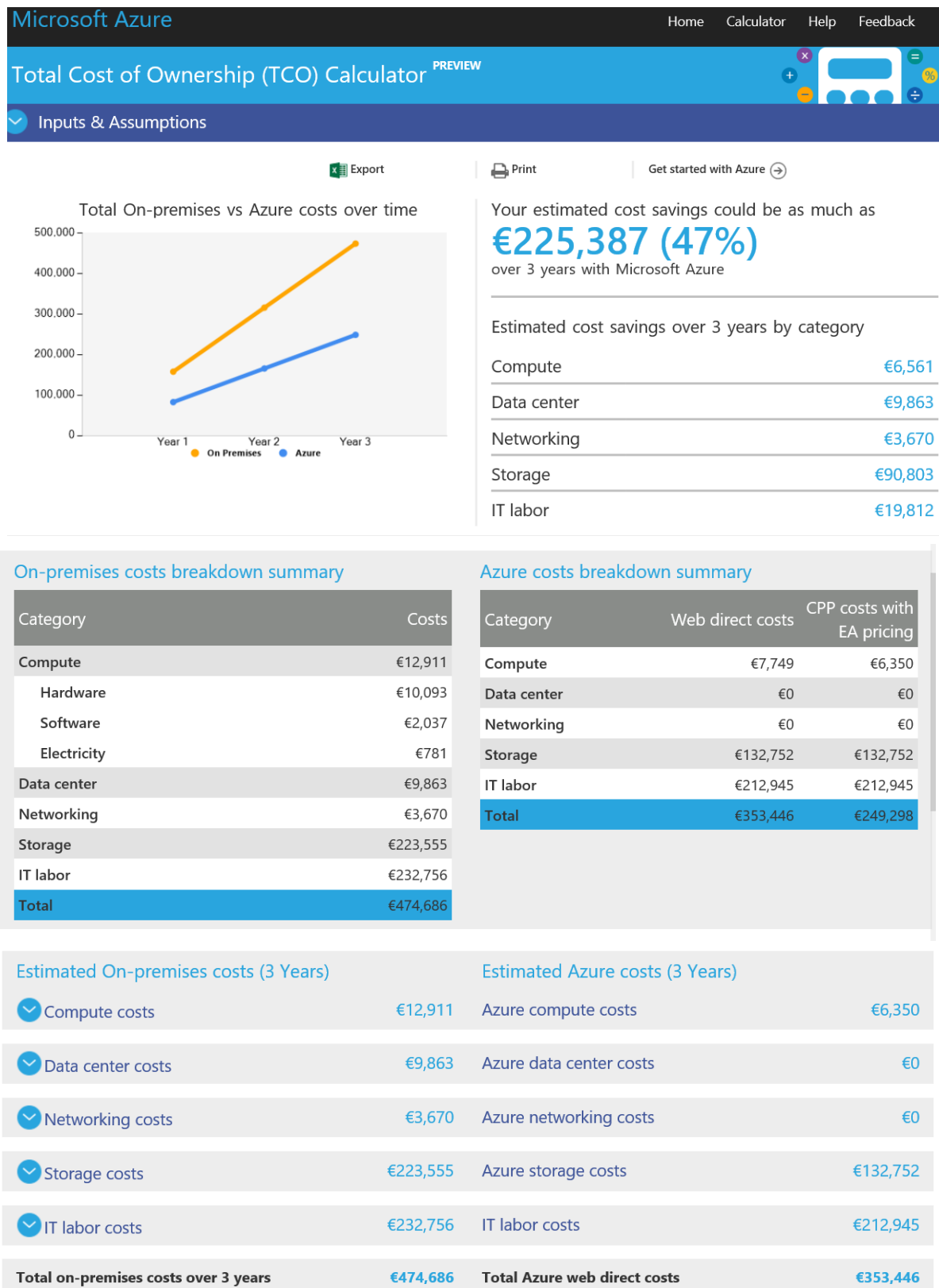
Hardware Configuration	Costs (€)	Hardware Configuration	Costs (€)
1 Proc, 1 Core/Proc, 0.75 GB RAM	1,032.12	2 Proc, 2 Core/Proc, 14 GB RAM	5,486.18
1 Proc, 1 Core/Proc, 1.75 GB RAM	1,036.52	2 Proc, 2 Core/Proc, 28 GB RAM	5,560.09
1 Proc, 1 Core/Proc, 2 GB RAM	1,245.06	2 Proc, 4 Core/Proc, 14 GB RAM	5,247.72
1 Proc, 1 Core/Proc, 3.5 GB RAM	1,252.98	2 Proc, 4 Core/Proc, 16 GB RAM	6,308.00
1 Proc, 2 Core/Proc, 3.5 GB RAM	1,481.75	4 Proc, 2 Core/Proc, 28 GB RAM	12,803.42
1 Proc, 4 Core/Proc, 7 GB RAM	1,716.68	4 Proc, 2 Core/Proc, 56 GB RAM	12,951.25
2 Proc, 1 Core/Proc, 4 GB RAM	3,811.73	4 Proc, 4 Core/Proc, 32 GB RAM	14,722.49
2 Proc, 1 Core/Proc, 7 GB RAM	3,827.57	4 Proc, 4 Core/Proc, 56 GB RAM	14,849.19
2 Proc, 1 Core/Proc, 14 GB RAM	3,864.52	4 Proc, 4 Core/Proc, 112 GB RAM	15,144.84
2 Proc, 2 Core/Proc, 8 GB RAM	5,454.50		

Hardware maintenance cost as a % of hardware cost: 20 %

Virtual Machine density (Number of vCPUs per physical core): 2

Obrázek 15. Konfigurace on-premise Microsoft Azure [zdroj: [54]].

Záložka obsahuje předvyplněné hodnoty odpovídajících komponent pro případ, že si je chce konzument pořídit v režimu *on-premise infrastruktury*. Ceny jsou předvyplněné na základě zkušeností a informací, které má k dispozici společnost Microsoft, ale lze je ručně změnit. Například v případě, že má konzument dlouhodobé smlouvy s vlastními dodavateli komponent, které jsou nižší než uvedené. Ne všechny položky bude ale schopen konzument znát a doplnit. Proto se minimálně pro první výpočet doporučuje ponechat přednastavené hodnoty a teprve následně je měnit. Po zadání všech potřebných vstupních parametrů je možné spustit výpočet (kalkulaci), na základě kterého dostane konzument informaci o tom, jak nákladný bude provoz *Cloud Computingu* a *on-premise infrastruktury*. Zkrácenou ukázkou výstupu ukazuje Obrázek 16



Obrázek 16. Výstupy konfiguratoru Microsoft Azure [zdroj: [54]].

Výstup zobrazuje a porovnává náklady na provoz *Cloud Computingu* a *on-premise infrastruktury* v období tří let od pořízení. Pro uvedený příklad jsou při použití *Cloud Computingu* vyčísleny úspory ve výši až 47% z celkových nákladů. V případě potřeby a zájmu je možné si v dolní části zobrazit detaily výpočtu, na základě kterých byly jednotlivé části nákladů vypočítány a provést nové zadání vstupních parametrů, které lépe

reprezentují požadavky *konzumenta*. Detail položky, spojené s vybudováním místa pro servery („Datacenter Costs“) ukazuje Obrázek 17.

Data center costs		Azure data center costs	
Data center compute costs		Total Azure data center cost over 3 years \$0	
Number of rack units per rack	42		
Rack units required per 2 proc 4 core, 16 GB RAM server	2		
Number of 2 proc 4 core, 16 GB RAM servers	1		
Total number of rack units required	2		
Total number of rack units required for all server (s)	2		
Number of racks required	0.05		
Data center construction cost per rack amortized over 20 years	\$14,262		
Total Data center compute costs over 3 years	\$2,037		
Data center storage costs			
Rack mounting/installation cost	\$3,057		
Total Data center storage costs over 3 years	\$9,171		
Total Data center costs over 3 years	\$11,208	Total Azure Data center costs over 3 years	\$0

Obrázek 17. Datacenter Costs Microsoft Azure [zdroj: [54]].

Je vidět, že v případě používání *Cloud Computingu* jsou tyto náklady nulové, zatímco u *on-premise infrastruktury* je počítáno veškeré vybavení, které je nutné pořídit. V případě, že *konzument* již nějakou infrastrukturu vlastní a jen ji rozšiřuje, budou tyto položky jiné. Podobným způsobem lze zobrazit a modifikovat i ostatní položky výpočtu.

Obdobným způsobem nabízí srovnání i další poskytovatelé *Cloud Computingu*. Například společnost Amazon, jejíž vstupní formulář pro zadání požadovaných parametrů ukazuje Obrázek 18. Výstupem kalkulátoru je obdobný report, jako u kalkulátoru společnosti Microsoft. A to včetně výpočetních detailů, které je možné změnit.

V případě, že *konzument* nemá o srovnání zájem nebo je již pro používání *Cloud Computingu* od vybraného poskytovatele rozhodnutý, může přejít na konfigurátor, v rámci kterého si vybere požadovanou konfiguraci, kterou si může ihned objednat. Formulář je obdobný formulářům, které se používají pro porovnání nákladů.

Slabinou všech konfigurátorů, bez ohledu na poskytovatele, je nutnost zadat správné vstupní údaje. V případě, že *konzument* přechází z již známé konfigurace, to obvykle problém není. Problém nastává u nové služby (aplikace), u které předchází zkušenost chybí a požadavky na požadovaný výkon se řeší až v průběhu provozu. V těchto případech se vždy projeví výhody *flexibility Cloud Computingu*.

amazon webservices Contact Sales

AWS Total Cost of Ownership (TCO) Calculator Basic

Use this calculator to compare the cost of running your applications in an on-premises or colocation environment to AWS. Describe your on-premises or colocation configuration to produce a detailed cost comparison with AWS. You can switch between the basic and advanced views to provide additional configuration details.

Select Currency: Euro

What type of environment are you comparing against? On-Premises Colocation

Which AWS region is ideal for your geo requirements? EU (Frankfurt)

Choose workload type: General

Servers

Are you comparing physical servers or virtual machines? Physical Servers Virtual Machines

Provide your configuration details:

Server Type	App. Name	Number of VMs	CPU Cores	Memory(GB)	Hypervisor	Guest OS	DB Engine
Non DB	<input type="text" value="cloud"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="16"/>	VMware	Linux	
Total no.of VMs: 2							+ Add Row

Storage

Provide your storage footprint details:

Storage Type	Raw Storage Capacity	% Accessed Infrequently
NAS	<input type="text" value="50"/> TB	
		+ Add Row

Calculate TCO

Obrázek 18. Konfigurace Cloud Computingu Amazon AWS [zdroj: [55]].

S pokrokem technologií již není *Cloud Computing* doménou jen těch největších poskytovatelů, ale je možné si služby objednat také u menších, často lokálních, provozovatelů sdílených datových center. Pro úplnost byla tedy do práce přidána ukázka konfiguratoru českého poskytovatele, společnosti Internet CZ, která je jedním z typických reprezentantů tohoto segmentu. Obrázek 19 ukazuje, že konfigurator tohoto poskytovatele je velmi jednoduchý a intuitivní, aby se minimalizovaly potřebné nároky na zadání vstupních parametrů. V horní části vstupního formuláře je možné si zvolit již „předkonfigurovaný server“ a následně jen doladit klíčové vstupní parametry. Srovnání s náklady na *on-premise infrastrukturu* součástí konfiguratorů těchto „menších“ poskytovatelů obvykle nebývá.

Co je společné pro všechny uvedené a další konfiguratorů poskytovatelů *Cloud Computingu* je skutečnost, že v žádném z nich není reflektována položka přínosů. Z pohledu poradenských společností je situace o něco lepší. Jak bylo ukázáno v práci [56], používají tyto společnosti pro hodnocení obvykle kombinaci metod *TCO* a *ROI*. Snaží se tedy hodnotit nejen náklady, ale také přínosy. Příkladem jsou společnosti Nucleus Research, Inc. [57] nebo ROI Institute, Inc. [58], která má přímo v názvu

uvedenou metodu, kterou používá. Mezi další společnosti, které používají komplexnější metodu, patří i společnost Gartner, Inc. [59], která je autorem metody výpočtu *TVO*.

Předem nakonfigurovaný server	Web
Hypervizor	Low Cost Hyper-V
OS/Šablona	Windows 2008 R2 64bit - Web Server
Virtuální CPU	2
RAM	16 GB
Velikost disku	100 GB
Síťový provoz	Neomezený 1000 Mbit/s
Náklady za zdroje na 30 dní	1872,00 Kč
Softwarové licence	--,-- Kč
Cena za měsíc	1872,00 Kč
Měna	CZK

[Objednat](#)

Obrázek 19. Konfigurace Cloud Computingu Forpsi Internet CZ [zdroj: [60]].

6 Reálné opce

Reálné opce a metoda jejich výpočtu jsou jádrem druhé, návrhové části této disertační práce a je nutné se s nimi seznámit podrobněji. Odlišnost od ostatních metod, jak bylo naznačeno v kapitole 5.4, spočívá v tom, že umí, na rozdíl od běžných metod (viz Tabulka 1), do celkové hodnoty projektu zahrnout parametr *flexibility*. Zatímco smyslem představení ostatních metod v předchozí kapitole bylo poukázat především na obecné principy a způsoby finančního hodnocení investic, cílem této kapitoly je rozebrat, jakým způsobem lze do hodnocení započítat *flexibilitu* jak interního, tak především okolního prostředí organizace.

Metoda Reálných opcí byla pro tuto práci vybrána s ohledem na skutečnost, jak bylo uvedeno v kapitole 2, že *Cloud Computing* je považován za jednu z *utilit*. Segment *utilit* je typický existencí nejistot budoucího stavu a úvodní rozhodování o investici do infrastruktury je třeba dělat tak, aby bylo v budoucnu možné flexibilně provádět změny infrastruktury podle aktuální situace, především být připravený na navýšení požadavků. Pro tyto účely, zvláště v energetice, se používá *metoda Reálných opcí* [61] a po seznámení se s ní, se autor této disertační práce rozhodl, že ji pro účely hodnocení *Cloud Computingu* použije také. Metoda vychází z běžných, výše popsaných metod a mimo nového parametru *volatility*, neobsahuje žádné další vstupní parametry, které by ji komplikovaly. Z tohoto důvodu by měla být jednodušeji uchopitelná pracovníky IT oddělení, než jiné komplexní metody, zmíněné v kapitole 5.2.9.

Kapitola je rozdělena do dvou částí. V první části je provedeno krátké seznámení s *finančními opcemi*, ze kterých *metoda Reálných opcí* vychází. V druhé části je popsána samotná *metoda Reálných opcí* a jsou rozebrány klíčové parametry a vstupy, použité ve druhé části této disertační práce.

6.1 Finanční opce

Finanční opce [62] jsou termínované obchody na trhu, jejichž základní charakteristikou je takzvané asymetrické právo. Termínované obchody (*finanční deriváty*) jsou transakce, uzavřené mezi dvěma subjekty, které na základě finanční opce spolu uzavřou smlouvu. V ní se dohodnou na konkrétním budoucím termínu, kdy bude možné koupit nebo prodat *podkladové aktivum* [47] za současně stanovenou cenu a při současně stanovených podmínkách. *Finanční deriváty* je možné podle uzavřené smlouvy rozdělit následovně:

- **Forwardy, futures, swapy** – případ, kdy je smlouva stejně závazná pro obě strany.
- **Finanční opce** - případ, že smlouva zvýhodňuje jednu stranu, která se může rozhodnout, zda smlouvu uplatní nebo ne. Zvýhodněná strana nenese žádné náklady, pouze platí poplatek za uzavření smlouvy o tomto právu, který se nazývá *opční prémie*.

V dalším textu se pracuje již jen s finančními opcemi, proto je vhodné si je na tomto místě definovat: „Při uzavření finanční opce získává kupující právo, nikoli však povinnost, koupit (opce na koupi - call) či prodat (opce na prodej - put) podkladové aktivum za předem stanovenou cenu (realizační cena, expirační cena, expiration price, **X**) v předem daném termínu (životnost opce, doba vypršení opce, doba splatnosti, time to maturity, **T**)“ [36]. V případě nepříznivého vývoje se může kupující svého práva vzdát a obchod neuskutečnit. V tomto případě se jeho ztráta omezí na ztrátu ve výši opční prémie, kterou za opci předem zaplatil. Prodávající má povinnost při uplatnění *opce*

kupujícím vždy splnit závazek prodeje / nákupu podkladového aktiva za stanovených podmínek. V případě neuplatnění *opce* kupujícím se opční prémie stává jeho ziskem, v případě uplatnění snižuje možnou ztrátu z hodnoty podkladového aktiva.

6.1.1 Dělení finančních opcí

Finanční opce můžeme dělit podle různých kritérií. Základní dělení je na *opce kupní (call)* a *prodejní (put)*. *Kupní opce* se vztahuje k právu budoucí koupě za předem dohodnutou cenu, zatímco *prodejní* je spojena s právem budoucího prodeje za stanovených podmínek. Protože vlastník opce má právo se rozhodnout, zda ji využije nebo ne, je nezbytně nutné, aby se druhá strana rozhodnutí přizpůsobila. Podle pozice (postavení, ve kterém se strana nachází) se opce dělí na pozici s právem rozhodnutí (*long, dlouhá*, kupujeme) a s povinností přizpůsobit se (*short, krátká*, vypisujeme).

Dalším kritériem dělení opcí je možnosti využití opčního práva během životnosti opce (doby trvání opčního práva). Mezi nejužívanější patří opce s jediným pevně daným datem vypořádání (v době splatnosti), tedy *evropská opce* a *opce* s možností vypořádání kdykoliv během doby trvání opčního práva, tedy *opce americká*. Kompromisem je *bermudská opce*, v rámci které je možné vypořádat opci v několika předem definovaných časových okamžicích.

Takto definované základní typy *opcí* se samostatně téměř nepoužívají. Většinou se používají složené *opce*, na základě kterých se vytvářejí opční strategie typu Straddle, Strangle, Spread [61]. Pro potřeby této disertační práce nejsou důležité a nejsou dále rozebírány.

Na opce lze nahlížet také z pohledu jejich stavu, kdy se posuzuje vztah *současné (strike, aktuální) ceny podkladového aktiva* a jeho *expirační ceny*. *Současná* cena *podkladového aktiva*, jež je předmětem smlouvy, je považována za *spotovou cenu S*. *Expirační (realizační, smluvní, dohodnutá ve smlouvě) cena aktiva* je značena *X*. Vztahy mezi hodnotami *S* a *X* jsou celkem tři:

- **V penězích (In the Money)** - je výhodné opci využít, protože v případě kupní opce spotová cena převyšuje expirační, v případě prodejní opce expirační cena převyšuje spotovou.
- **Na penězích (At the Money)** – expirační a spotová cena jsou stejné a nezáleží na tom, zda držitel opční právo využije, nebo ne.
- **Mimo peníze (Out of the Money)** - využití opce se nevyplatí, protože v případě kupní opce je spotová cena nižší než expirační, v případě prodejní opce spotová cena převyšuje expirační cenu pro prodejní opci.

6.1.2 Hodnota (cena) opce

Při obchodování s opcemi je nutné vědět, jak vzniká a co vyjadřuje jejich hodnota (cena). „*Opce jako právo má svoji hodnotu a ta je ovlivněna parametry, které ji charakterizují. Nevztahuje se přímo k hodnotě podkladového aktiva, ale k právu s ním nakládat podle uzavřené opční smlouvy*“ [36]. Parametry, které hodnotu *opce* ovlivňují, se týkají podkladového aktiva z hlediska jeho současné ceny a kolísavosti na trhu. Dalšími parametry jsou podmínky uzavřené opční smlouvy (cena, doba do vypršení, typ a druh opce) a ekonomická situace okolí. Z těchto parametrů odvozujeme vnitřní a časové hodnoty opce. Jejich složením dostáváme celkovou hodnotu opce.

6.1.3 Vnitřní hodnota opce

Vnitřní hodnota opce je rozdílem mezi současnou cenou podkladového aktiva S v libovolném časovém okamžiku $t \leq T$ a smluvní cenou X . Tedy cenou, za kterou můžeme podkladové aktivum koupit či prodat v budoucnu. Můžeme ji definovat následujícím způsobem (vzorec (11) a (12)):

$$C(S, t) = \max(S - X, 0), \text{ pro call opci} \quad (11)$$

$$C(S, t) = \max(X - S, 0), \text{ pro put opci} \quad (12)$$

Vnitřní hodnota opce je rovna nule, pokud je rozdíl spotové a realizační ceny pro držitele opce nevýhodný (záporný) a opci by neuplatnil. V opačném případě je rovna výši zisku bez zahrnutí opční prémie. [47]

6.1.4 Časová hodnota opce

Vnitřní hodnota opce nezahrnuje do výpočtu opční prémie, tedy částku zaplacenou při koupení opce. Časová hodnota opce je dána rozdílem mezi opční prémie a vnitřní hodnotou opce. Vyjadřuje množství času, kolik má opce do konce doby splatnosti, a zároveň pravděpodobnost, že opce přinese svému majiteli do této doby zisk. Opce můžeme přirovnat k rozpadajícím se investičnímu majetku. Pokud jej vlastníci nerozprodají nebo neuplatní do vypršení, stává se bezcenným.

Vzhledem k tomu, že časová hodnota opce je odrazem vlivu nabídky a poptávky po dané opci na trhu, dalším faktorem, majícím vliv na časovou hodnotu opce, je volatilita. O časové hodnotě opce lze tedy „zjednodušeně říci, že je to částka, kterou je ochoten zaplatit kupující prodávajícímu opce za naději, že se během doby do vypršení opce příznivě změní podmínky na trhu“ [36]. S vyšší volatilitou podkladového aktiva roste pravděpodobnost, že se opci vyplatí / nevyplatí uplatnit. Hodnota opce klesá s přibližujícím se koncem doby splatnosti a snižující se šanci na změnu. Nejvyšší časovou hodnotu má opce na penězích (**At the Money**), kde jsou si tyto dvě ceny rovny nebo velmi blízké. U této opce je velká pravděpodobnost, že bude brzo v penězích (**In the Money**) a tak se zvyšuje její časová hodnota [36], [61].

6.1.5 Parametry ovlivňující hodnotu (cenu) opce

Klíčové faktory, které ovlivňují hodnotu (cenu) opce byly již z větší části shrnuty v kapitolech o vnitřní a časové hodnotě opce. Obecně lze konstatovat, že hodnota opce je přímo ovlivňována faktory, které se týkají hodnoty podkladového aktiva, podmínek uzavřené opční smlouvy a ekonomické situace okolí. Jedná se především o následující parametry [36], [47], [61]:

- současná (spotová, okamžitá, aktuální) cena S podkladového aktiva,
- realizační (strike, smluvní, expirační) cena X podkladového aktiva,
- čas, zbývající do doby vypršení opce (expirační doba, Expiration Date) T ,
- bezriziková úroková míra (úroková sazba) r ,
- volatilita podkladového aktiva σ (popřípadě σ^2),
- Dividendy.

Popisu *volatility* je věnovaná samostatná kapitola 6.1.6. *Bezriziková úroková míra* byla popsána v kapitole 4.4.4 a dividendy nejsou pro tuto disertační práci důležité. Proto nejsou dále rozebírány. Vliv jednotlivých faktorů na *hodnotu opce* zachycuje Tabulka 1.

Tabulka 2. Vliv vstupních faktorů na hodnotu opce [zdroj: [61]].

	Růst parametru ▲		Pokles parametru ▼	
	Kupní opce	Prodejní opce	Kupní opce	Prodejní opce
Současná cena	▲	▲	▼	▲
Realizační cena	▲	▲	▼	▼
Expirační doba	▲	▲	▼	▼
Úroková sazba	▲	▲	▼	▼
Volatilita	▲	▼	▼	▲
Dividendy	▼	▲	▲	▼

Symbolem ▲ je znázorněn růst hodnoty faktoru a hodnoty opce. Symbolem ▼ je znázorněn pokles hodnoty faktoru a hodnoty opce.

6.1.6 Volatilita podkladového aktiva

Volatilita vyjadřuje míru rizika změny ceny *podkladového aktiva* za určité období. Charakterizuje stálost hodnoty a je měřena pomocí směrodatné odchylky σ , popřípadě rozptylu σ^2 . Jedná se o parametr, který se ze všech vstupních údajů měří nejhůře. Obvykle se pro výpočet používají historické kurzy *podkladového aktiva* (*historická volatilita*) nebo *Black-Scholesův* vzorec (*implicitní volatilita*) [47]. Využitím tohoto parametru se do výpočtu hodnoty *opce* zahrnuje *flexibilita podkladového aktiva*, která nám jako vstupní hodnota chyběla u běžných metod, popsanych v kapitole 5. Podrobněji je *volatilita* popsána v kapitole 6.2.1. V následujících dvou kapitolách jsou představeny dvě základní metody, které se pro výpočet finančních opcí používají. Představení dalších metod je nad rámec této disertační práce.

6.1.7 Black-Scholesův model

Black-Scholesův model oceňování opcí je spojitým modelem a patří mezi nejznámější a nejrozšířenější modely. Byl představen v roce 1973 jako první metoda hodnocení *opcí* [63]. Jeho výhodou je jednoduchost. K výpočtu stačí do vzorce vložit šest správně identifikovaných vstupních proměnných. Tato jednoduchost může být pro některé uživatele nevýhodou, protože se model tváří jako „černá skříňka.“

Je založený na spojitém procesu změny ceny *podkladového aktiva* za předpokladu, že časový úsek je rozdělený na nekonečně mnoho, nekonečně malých úseků, které tvoří spojitou křivku. Mezi další předpoklady, nutné pro aplikaci spojitého modelu patří [36]:

- model lze použít pouze pro oceňování evropských opcí,
- existují dokonalé trhy, abstrahující od vlivu daní a transakčních nákladů, aktiva jsou nekonečně dělitelná a neexistují omezení jejich nákupů a prodejů na dokonale konkurenčních trzích, kde nositeli všech dostupných informací jsou ceny,

- střední hodnota výnosu podkladového aktiva a její směrodatná odchylka jsou konstantní v čase,
- nedochází k vyplácení dividend z podkladového aktiva,
- na trhu lze bez omezení vypůjčovat a zapůjčovat peněžní prostředky,
- bezriziková úroková míra je konstantní a navíc stejná pro všechny doby splatnosti,
- není možná arbitráž¹²,
- cena podkladového aktiva se řídí náhodným Brownovým pohybem, založeným na Markovových řetězcích a podléhá Itoově procesu [64].

Pro výpočet *hodnoty evropské kupní opce (call)* v čase \mathbf{T} do její splatnosti lze použít vzorec (13).

$$C = S \times N(d_1) - X \times e^{-r \times T} \times N(d_2) \quad (13)$$

Pro výpočet *hodnoty evropské prodejní opce (put)* v čase \mathbf{T} do její splatnosti lze použít vzorec (14).

$$P = -S \times N(-d_1) + X \cdot e^{-r \times T} \times N(-d_2) \quad (14)$$

Parametry \mathbf{d}_1 a \mathbf{d}_2 lze spočítat ze vzorce (15) a (16).

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right) \times T}{\sigma \times \sqrt{T}} \quad (15)$$

$$d_2 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right) \times T}{\sigma \times \sqrt{T}} = d_1 - \sigma \times \sqrt{T} \quad (16)$$

Význam vstupních parametrů odpovídá těm, které byly definované v kapitole 6.1.5 [36]:

- \mathbf{S} - aktuální cena podkladového aktiva,
- \mathbf{T} - čas do vypršení opce,
- \mathbf{X} - realizační cena podkladového aktiva,
- σ - směrodatná odchylka ceny aktiva (volatilita),
- \mathbf{r} - bezriziková úroková míra,
- \mathbf{e} - základ přirozeného logaritmu,
- $\mathbf{N(d}_1), \mathbf{N(d}_2)$ – hodnoty distribuční funkce normálního rozdělení pro \mathbf{d}_1 a \mathbf{d}_2 .

Hodnoty distribuční funkce normálního rozdělení $\mathbf{N(d)}$ představují pravděpodobnosti budoucích pozitivních peněžních toků v době splatnosti. Za povšimnutí ve vzorcích (13) a (14) stojí položka $\mathbf{e^{-r \times T}}$, která reprezentuje přepočtení realizační ceny podkladového aktiva \mathbf{X} v čase \mathbf{T} na současnou hodnotu. Odpovídá to diskontování, které bylo použito u *dynamických metod*, popsanych v kapitole 5, koeficientem $(\mathbf{1+r})^{-t}$. Použití jiného způsobu *diskontování* vychází z principu úročení,

¹² Opce by nikdy neměla mít větší hodnotu, než je hodnota podkladového aktiva \mathbf{S} . Jinak bude umožněna arbitráž, která je založena na současném nákupu a prodeji téhož aktiva na různých burzách s cílem využít kurzových rozdílů k dosažení zisku. [47]

kteřé u *dynamických metod* vychází z diskřétních hodnot a je proto použito *složené úročení*, zatímco v případě *Black-Scholesova modelu* se vychází ze spojitého průběhu hodnot a proto je použito *úročení spojitě* [47].

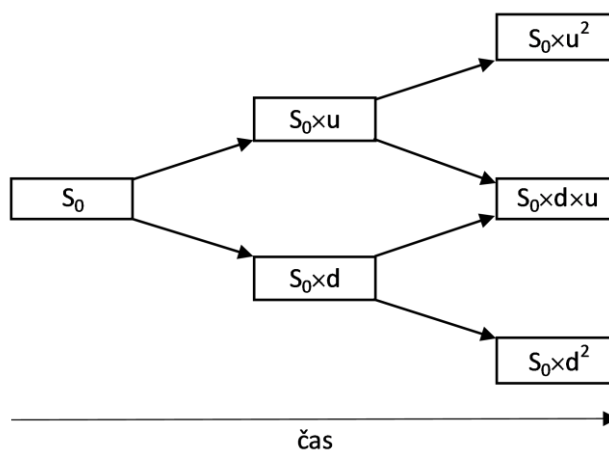
6.1.8 Binomický model

Zatímco *Black-Scholesův model* předpokládá spojitý proces změny ceny podkladového aktiva, nespojitě modely, kam patří i *binomický*, vychází z předpokladu, že celkový čas životnosti opce T je možné rozdělit do konečného množství dílčích úseků n . Mimo *binomické modely* sem patří také trinomické až n -stupňové modely. Základem výpočtu *binomického modelu* je předpoklad, že v každém časovém bodě t může s pravděpodobností p dojít k různým stavům světa n . Stav růstu s koeficientem u a pravděpodobností p a poklesu s koeficientem d a pravděpodobností $(1-p)$.

Model byl poprvé představen v roce 1979 [65]. Podobně jako *Black-Scholesův model* vychází z několika předpokladů [36]:

- neexistuje možnost arbitráže (nelze dosáhnout bezrizikového zisku),
- platí zákon jedné ceny (jestliže mají dvě různá aktiva v budoucnu stejnou hodnotu, pak za předpokladu nemožnosti arbitráže musí mít dnes stejnou cenu),
- existují dokonalé trhy (neexistují transakční náklady a daně, neexistuje omezení na krátký prodej, *podkladové aktivum* je nekonečně dělitelné),
- výnos jakéhokoliv aktiva je roven bezrizikové sazbě.

Tvorba modelu vychází z předpokladu, že vstupní parametry u , d , *volatilita podkladového aktiva* a pravděpodobnosti pohybu p a $(1-p)$ jsou konstantní. Ukázkou tvorby *binomického stromu* pro dvě úrovně demonstruje Obrázek 20.

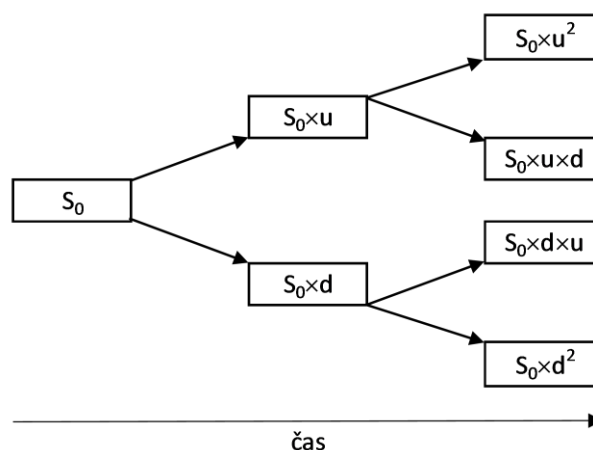


Obrázek 20. Ukázkou tvorby rekombinačního binomického stromu [zdroj: [66]].

Hodnota S_0 reprezentuje počáteční hodnotu aktiva. Standardní proces prvotní tvorby binomického stromu probíhá tak, že pro každý časový úsek t se hodnota *podkladového aktiva* buď zvýší o koeficient u ($S_n \times u$) s pravděpodobností p nebo sníží o koeficient d ($S_n \times d$) s pravděpodobností $(1-p)$. Je vidět, že v prvním kroku vzniknou dva uzly ($S_0 \times u$, $S_0 \times d$), které představují možné hodnoty aktiva na konci prvního období. Na konci druhého období vznikají uzly tři ($S_0 \times u^2$, $S_0 \times u \times d$, $S_0 \times d^2$) a stejným způsobem se pokračuje,

až do času T . Poslední uzly v čase T reprezentují rozpětí možných hodnot na konci životnosti *opce*. Rozvoj binomického stromu a počty uzlů v jednotlivých časech t lze jednoduše určit například pomocí *Pascalova trojúhelníku* nebo *Binomické věty* [67].

Aby bylo možné správně zkombinovat hodnoty, odpovídající přechodu $u \times d$ a $d \times u$, musí platit podmínka, že $u = 1/d$ [66]. V případě tvorby opčního binomického modelu toto pravidlo platí. Takovýto strom se nazývá rekombinační. Příklad nerekombinačního stromu pro dvě úrovně demonstruje Obrázek 21.



Obrázek 21. Ukázka nerekombinačního binomického stromu [zdroj: [66]].

Koeficient růstu u spočítáme pomocí vzorce (17)¹³:

$$u = e^{\sqrt{(\sigma^2) \times (\frac{T}{n})}} \quad (17)$$

Koeficient poklesu d spočítáme pomocí vzorce (18)¹⁴:

$$d = \frac{1}{u}, d = e^{-\sqrt{(\sigma^2) \times (\frac{T}{n})}} \quad (18)$$

Posledními parametry, které jsou zapotřebí pro výpočet hodnoty *opce*, je pravděpodobnost nárůstu p , kterou spočítáme podle vzorce (19):

$$p = \frac{(1+r)^{\frac{T}{n}} - d}{u - d} \quad (19)$$

a poklesu $(1-p)$. Se znalostí těchto koeficientů je možné spočítat hodnotu *evropské kupní opce C* pro n období dle vztahu (20):

$$C = \frac{1}{(1+r)^n} \times \sum_{i=0}^n \frac{n!}{i! \times (n-i)!} \times p^i \times (1-p)^{n-i} \times \max(S \times u^i \times d^{n-i} - X, 0) \quad (20)$$

a hodnotu *evropské prodejní opce P* pro n období dle vztahu (21):

$$P = \frac{1}{(1+r)^n} \times \sum_{i=0}^n \frac{n!}{i! \times (n-i)!} \times p^i \times (1-p)^{n-i} \times \max(X - S \times u^i \times d^{n-i}, 0) \quad (21)$$

¹³ Vzorec vychází ze shodnosti střední hodnoty a směrodatné odchylky pro binomické rozdělení a pro zadané hodnoty.

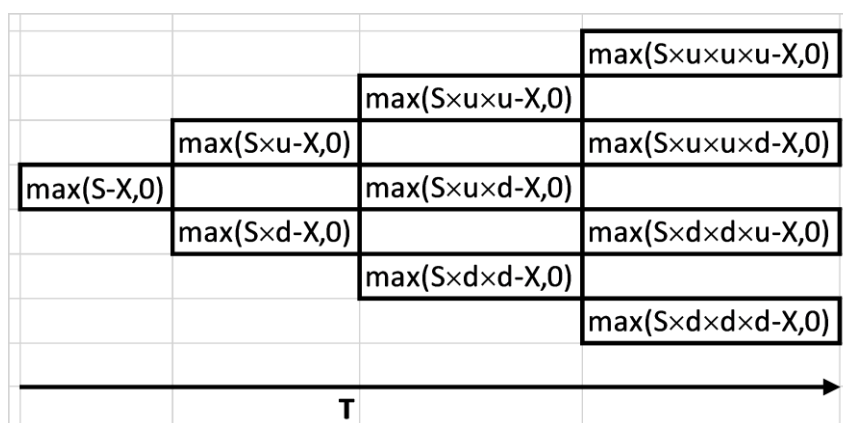
¹⁴ Vzorec lze odvodit z podmínky neexistence nebo nemožnosti arbitráže.

Výpočet *americké opce* je komplikovanější, protože ji lze uplatnit v libovolném okamžiku vygenerovaného binomického stromu. Na rozdíl od *evropské opce* to znamená, že vygenerovaný binomický strom se neprochází jen jednosměrně zleva doprava, ale pro stanovení výsledné hodnoty je nutný druhý krok, ve kterém se strom prochází také zprava doleva. Výpočet je založený na stanovení *vnitřní hodnoty opce* v každém uzlu vygenerovaného uzlu. Pro *evropskou opci* platí, že její vnitřní hodnotu v libovolném uzlu binárního stromu lze spočítat podle vzorce (22) v případě *kupní opce* a vzorce (23) v případě *prodejní opce*.

$$C_{i,n} = \max(S_{i,n} - X, 0) \quad (22)$$

$$P_{i,n} = \max(X - S_{i,n}, 0) \quad (23)$$

Index **i** znamená i-tou pozici uzlu v období **n**. Hodnota **S_{i,n}** vyjadřuje aktuální cenu podkladového aktiva, spočítanou pomocí odpovídající kombinace koeficientů **u** a **d**. Výstupem je vnitřní hodnota *evropské kupní opce* $C_{i,n}$ nebo *hodnota evropské prodejní opce* $P_{i,n}$ v uzlu s pozicí **i**, **n**¹⁵. Pro výslednou hodnotu *evropské opce* je nutné znát jen *vnitřní hodnoty opce* v posledních uzlech, tj. uzlech v čase **T**, které se následně zkombinují a *diskontují* koeficientem **r** (bezriziková úroková sazba) dle vzorce (20) nebo (21). Výpočet vnitřní hodnoty pro *kupní opci* a tři období znázorňuje Obrázek 22.



Obrázek 22. Výpočet vnitřní hodnoty kupní opce pro tři období [zdroj: [68]].

U *americké opce* je výpočet *vnitřní hodnoty* komplikovanější, protože je nutné započítat také hodnoty opce pro jednotlivé vnitřní uzly stromu pro případ, že bude *opce* uplatněna v libovolném z nich. *Vnitřní hodnoty* se proto, mimo poslední úroveň, kde jsou stejné jako u *evropských opcí*, počítají pro *americkou kupní opci* dle vzorce (24) a *americkou prodejní opci* dle vzorce (25).

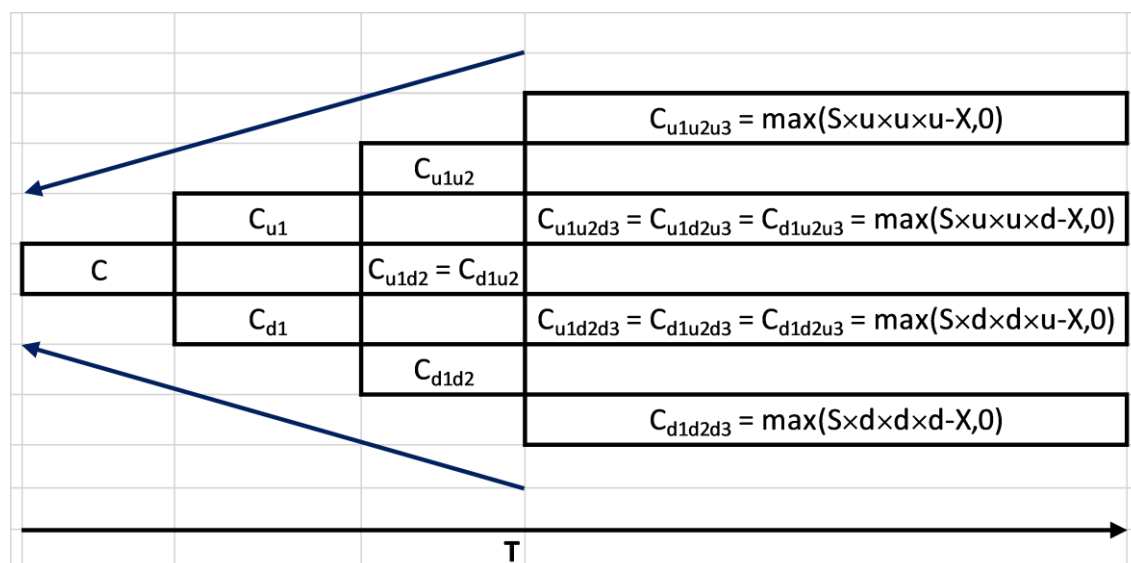
$$C_{i,n-1} = \max \left[\frac{1}{1+r} \times (p \times C_{i,n} + (1-p) \times C_{i+1,n}), \max(S_{i,n-1} - X, 0) \right] \quad (24)$$

$$P_{i,n-1} = \max \left[\frac{1}{1+r} \times (p \times C_{i,n} + (1-p) \times C_{i+1,n}), \max(X - S_{i,n-1}, 0) \right] \quad (25)$$

Vzorce (24) a (25) reprezentují zpětný průchod binomickým stromem zprava doleva a znamenající hodnotu, kterou bychom v daném uzlu získali, kdyby se *podkladové aktivum* prodalo. Vždy se srovnává aktuální hodnota s možnou, *diskontovanou*, budoucí hodnotou. V kořenu stromu získáme výslednou celkovou *hodnotu americké opce*. U *evropské opce* není nutné toto srovnání provádět, protože uplatnit *opci* lze až v čase **T**, takže se

¹⁵ Index **n** reprezentuje konkrétní období v čase **T**, index **i** pozici uzlu v konkrétním období.

vždy hodnotí až poslední úroveň, která se jednorázově *diskontuje*. Ukázkou zpětného počtu hodnoty *americké kupní opce* zobrazuje Obrázek 23.



Obrázek 23. Výpočet hodnoty americké kupní opce pro tři období [zdroj: [68]].

Mezi výhody binomického modelu patří možnost jeho využití pro výpočet hodnoty jak evropských, tak amerických opcí. Zvyšování množství intervalů n , na které je rozdělena doba do vypršení opce, zvyšuje přesnost výpočtu. *Black-Scholesův* model reprezentuje v tomto případě limitní variantou *binomického modelu*. Model předpokládá, že ve všech obdobích je pravděpodobnost růstu p a poklesu $(1-p)$ stejná. Nevýhodou je závislost na správném stanovení indexu poklesu d a růstu u . Z hlediska porovnání výpočtu *evropské opce* a *americké opce* platí, že *hodnota americké opce* je díky vyšší *flexibilitě* vyšší nebo stejná jako *hodnota opce evropské* [47].

Vzhledem k tomu, že *binomický model* umožňuje, na rozdíl od *Black-Scholesova modelu*, zobrazit způsob výpočtu a provádět jeho analýzu, bude v dalších částech této disertační práce používán již jen tento model.

6.1.9 Exotické typy finančních opcí

Pro úplnost přehledu o *finančních opcích* je nutné zmínit, že mimo *opce*, popsané v kapitole 6.1.1, existují další typy opcí, které jsou velmi často, díky své povaze a způsobu určování jejich hodnoty, nazývány *exotickými*. Patří sem například *opce asijské*, *bariérové* a *opce s ohlédnutím se zpět*. Přestože je jejich znalost nad rámec této disertační práce, mají s ní společnou důležitou vlastnost, kterou je paměť. Paměť je myšleno, že výstupní hodnota opce závisí na historickém průběhu hodnot, kterými podkladové aktivum v období své životnosti prošlo. Proto jsou tyto *opce* nazývány také *Hard Path-Dependent opce* nebo *Path-Dependent Option with Strong Memory*. Typy *opcí* se liší v závislosti na historii hodnot. Pro uvedené tři typy platí [69], [70]:

- **Asijská opce (asian option, average option)** – dělí se na dva typy. Prvním typem je *asijská opce*, kdy je realizační cena *podkladového aktiva* X nahrazena průměrnou cenou *podkladového aktiva* během celé životnosti *opce* nebo její části. Druhým typem je *asijská opce*, u které je průměrována aktuální cena S .
- **Bariérová opce (barrier option)** – *opce* je aktivována po dosažení stanovené hodnoty *podkladového aktiva*. Aktivací je myšleno, že podle typu *bariérové opce*

je možné při dosažení bariéry *opci* uplatnit (knock-in) nebo se dosažením bariéry *opce* stává bezcennou (knock-out).

- **Opce s ohlednutím se zpět (lookback option)** – realizační cena *podkladového aktiva X* je nahrazena minimální nebo maximální cenou, kterou *podkladové aktivum* dosáhlo během celé životnosti *opce* nebo její části.

Z popisu vlastností je vidět, že *exotické opce* svým charakterem a nutností pamatovat si historické hodnoty výrazně ovlivňují (komplikují) vstupní parametry, které se zadávají do modelů pro výpočet hodnoty *opce*. V rámci návrhové části práce je podobný princip použití paměti historických hodnot použit pro stanovování *vnitřních hodnot opce*.

6.2 Reálné opce

Rozvoj používání finančních opcí byl inspirací pro vznik opcí reálných. Finanční svět se ve své podstatě podobá světu jiných odvětví a dle [47] lze „jako *opci chápat téměř jakoukoliv situaci v podniku, která pracuje s rozhodováním na základě podnětů změny vnějšího okolí a jeho vlivu na další vývoj firmy, tj. hlavně rozhodování o akcích investičních. Obdobně, jako jsou finanční opce chápány jako právo na budoucí nákup nebo prodej nějakého aktiva, tak reálné opce můžeme chápat jako právo na inkasování budoucích peněžních toků souvisejících s realizací nějakého projektu.*“ V tomto případě se práva netýkají finančních, ale reálných aktiv a proto se používá pojem *Reálné opce*. O *Reálných opcích* se mluví také v případě, že podkladovým aktivem jsou komodity. Na rozdíl od *finančních opcí* není u *Reálných opcí* jednoznačně definované vlastnictví, předem neexistuje daná exkluzivita vstupu na trhy či přesunu výroby do nákladově výhodnějších oblastí, popřípadě redukce aktiv konkurence [71]. Až na výjimky (například nákup licencí) reálné opce nejsou institucionalizovány.

Poprvé je pojem *Reálná opce* zmíněn v roce 1977 v článku [72] ve spojitosti s rozšířením, odložením a opuštěním projektu na základě budoucí informace. *Reálné opce* lze chápat jako další metodu hodnocení investic, které byly zmíněny v kapitole 5. Na rozdíl od nich ale do výpočtu zahrnuje *flexibilitu*, kterou ostatní metody v sobě přímo nemají. Jak bylo naznačeno rovnicí (10) v kapitole 4.5, metoda je modifikací metody NPV a lze ji zjednodušeně vyjádřit vzorcem (26).

$$\text{Hodnota projektu} = \text{NPV} + \text{Opční hodnota} \quad (26)$$

Opční hodnota je v tomto vzorci rozšířením hodnoty NPV a zahrnuje v sobě *flexibilitu*, která představuje právo na pozdější přizpůsobení se aktuální situaci. Na vyhodnocení opční hodnoty je založena návrhová část této disertační práce. V této kapitole jsou popsány klíčové rozdíly mezi *finančními opcemi* a *Reálnými opcemi* a jsou specifikovány pojmy, kterým nebyla v předchozí části práce věnována detailní pozornost.

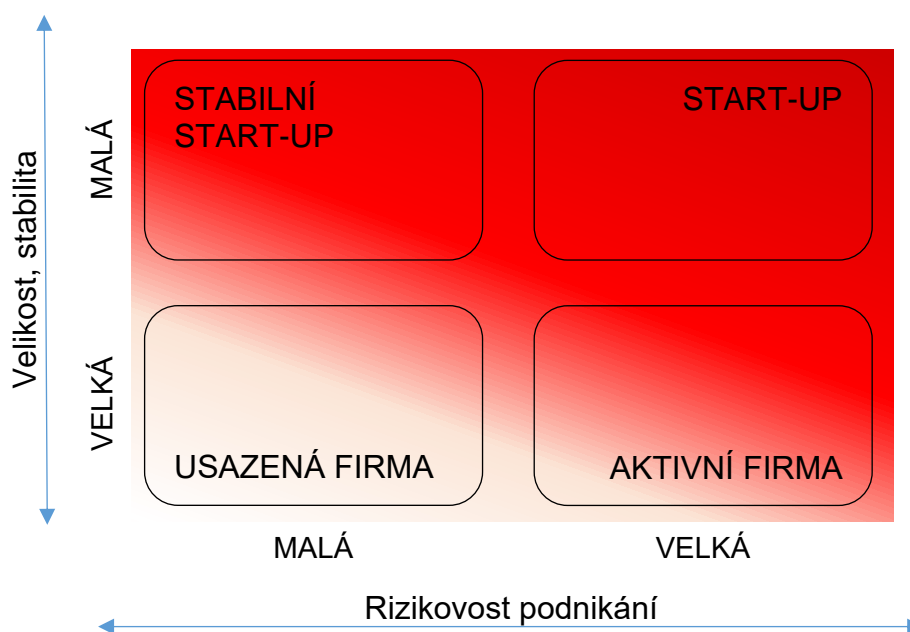
6.2.1 Flexibilita, volatilita, nejistoty

Přidanou hodnotou *metody Reálných opcí* je schopnost zahrnout do výpočtu parametr *flexibility*. Myšlenka *flexibility* neboli pružného reagování a přizpůsobení se trhu, se prolíná rozhodováním ve všech oblastech trhu. Organizace, která dokáže za krátkou dobu odpovídajícím způsobem (*agilně*) reagovat na probíhající změny, má vůči ostatním velkou konkurenční výhodu. „*V souvislosti se strategickým investováním můžeme flexibilitu definovat jako schopnost změnit svá rozhodnutí a v reálném čase investici rozšířit, ukončit, změnit vstupy či výstupy, přemístit apod., a to s cílem maximalizovat svůj užitek z ní*“ [36].

Flexibilita je využitelná v situacích, kdy se v průběhu investice změny podmínky provozu nebo podmínky na trhu. Jinými slovy, jde o situace, kdy v době rozhodování o realizaci existovala *nejistota* o stabilitě vstupních podmínek provozu *investice*. Z toho plyne, že ne vždy je nutné *flexibilitu* do výpočtů zahrnovat a že ne vždy zajišťuje větší přidanou hodnotu projektu (konkurenční výhodu). U projektů s vysokou mírou jistoty zahrnutí *flexibility* pouze navyšuje náklady na realizaci bez většího užítku.

Nejistota je obecně používaný termín pro popis něčeho, co neznáme. Buď proto, že nevíme, kam směřuje vývoj, není možné danou věc přesně zjistit nebo je zjistitelná až později. Pro číselné vyjádření nejistoty se používá termín *volatilita*. Pochází z latinského slova *volare* („létat“) a v překladu znamená kolísavost, kolísání, nestálost, respektive výši a frekvenci změn ceny nebo hodnoty. Vyjadřuje se pomocí směrodatné odchylky nebo rozptylu. [36]

Čím je vyšší *volatilita*, tím vyšší je rozptyl možné úspěšnosti projektu. A to jak směrem k vyšším ziskům, tak i vyšším ztrátám. Schopnost přesně odhadnout budoucí změny okolních podmínek, ovlivňujících projekt, je v tomto případě nižší, protože existuje vysoká míra *nejistoty*, která zvyšuje *riziko* chybného odhadu. Důvodem je nestálost v daném segmentu trhu nebo neznalost segmentu, například z důvodu jeho „novosti“¹⁶. Nízká *volatilita* naopak představuje stabilnější prostředí. Vychází z dobré znalosti již existujícího segmentu trhu, existující konkurence a rigidnosti s ohledem na možné a smysluplné inovace daného segmentu. Tento trh je dobře předvídatelný a možný rozptyl zisku / ztrát je malý [33]. Podobně lze přistoupit k míře rizikovosti i z pohledu samotné organizace, která se může nacházet v různém okamžiku svého životního cyklu, jak ukazuje Obrázek 24.



Obrázek 24. Závislost volatility na životním cyklu organizace [zdroj: [33]].

Míra rizikovosti (hodnota *volatility*) je zachycena sytostí červené barvy a čím je barva sytější, tím je její hodnota vyšší. Největší rizikovost je u začínajících, neusazených *start-up* organizací, které se obvykle pohybují na pro ně neznámém, těžko uchopitelném segmentu trhu. Dle [73] lze charakterizovat *start-up* jako firmu s krátkou existencí, malým týmem, vysokým podnikatelským rizikem a s vysokým potenciálem návratnosti

¹⁶ Novostí je myšlen segment, na kterém se pohybují například *start-up* organizace, přicházející s novým nápadem a tvořící nový, dosud neexistující segment.

v případě úspěchu. Nejnižší míra rizikovosti je naopak u velkých ustálených firem, které výrazným způsobem (velikostí) pokrývají nebo dokonce ovládají stabilní trh například s *utilitami* nebo *komoditami* u kterého je riziko a pravděpodobnost, že dojde k neočekávané změně velmi nízká. Dle [74] je vysoká míra rizikovosti také u organizací, které jsou velké, usazené, ale mají tendenci vstupovat do nových segmentů trhu a vkládat kapitál do projektů, které jsou velmi často realizovány novými *start-up* organizacemi. Jak zisk, tak i ztráta z těchto investic mohou být velké.

6.2.2 Metody stanovení hodnoty volatility

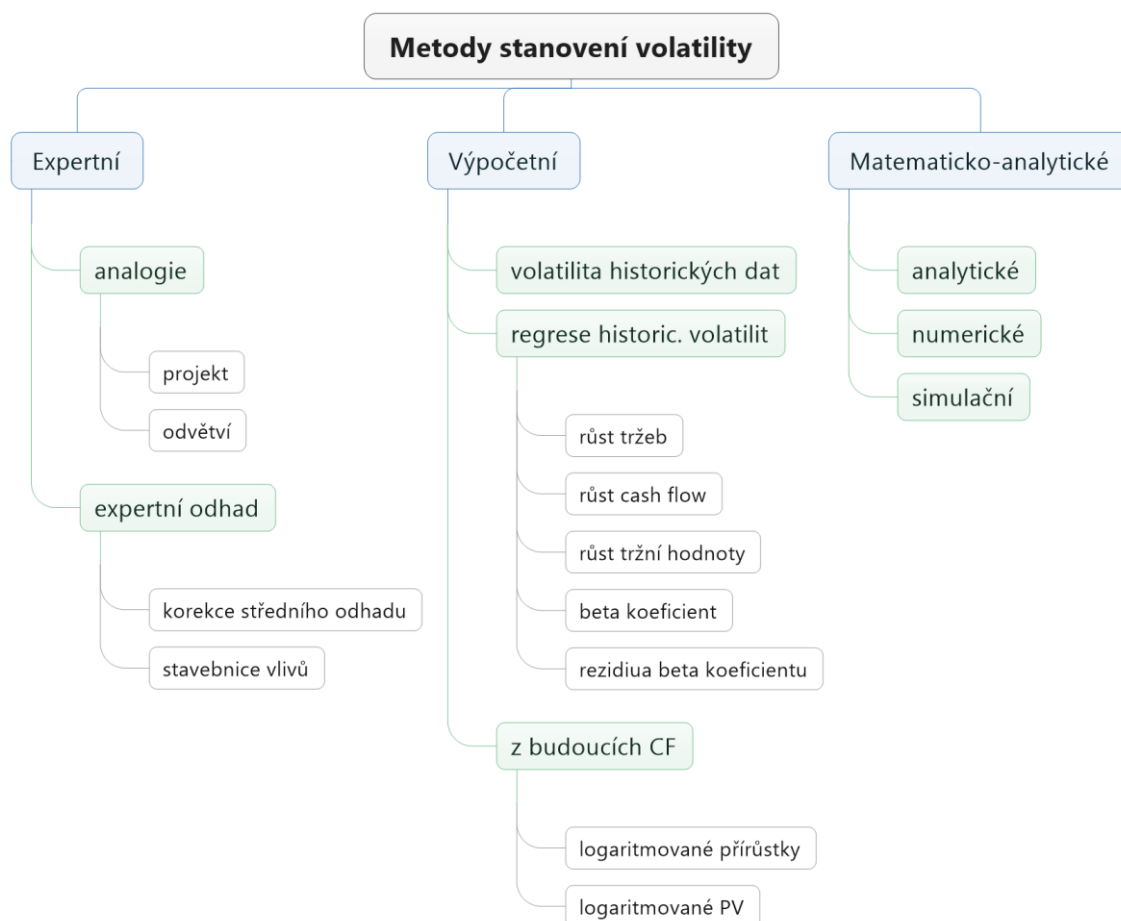
Na rozdíl od *finančních opcí* se *volatilita Reálných opcí* nestanovuje jednoduše. Na kapitálových trzích, i přes určité zkreslení, obvykle fungují *historické modely*. U *reálných opcí* historie není známá a často ani neexistuje. Výjimkou mohou být opce na obchodovatelné *komodity* typu káva ropa a další. Metod, jak hodnotu *volatility* stanovit, existuje celá řada a jejich rozložení ukazuje Obrázek 25.

Podrobnější popis jednotlivých metod je nad rámec této disertační práce a lze jej najít například v [36], [47], [75], [76]. Mezi nejčastěji používané metody se řadí metody zařazené do kategorie „Expertní“, které jsou založeny na porovnání s podobnými projekty nebo expertních odhadech. Často lze využít existujících tabulek, které shrnují *volatilitu* pro různá průmyslová odvětví a regiony, protože například chování trhů v Evropě, USA nebo Asii je odlišné. Základní přehled lze najít například v [36], aktuální informace o hodnotě volatility vybraných oblastí lze najít na internetové adrese [77]. V případě, že lze odhadnout budoucí toky peněz, je možné použít „výpočetní“ metody, založené na logaritmech přírůstků nebo současné hodnoty. Oblíbené jsou také simulační metody, například *Monte-Carlo* [46].

Tabulka 3. Rozdělení hodnot volatility [zdroj: [36]].

	Hodnota volatility (σ)	Typický segment trhu
Žádná / nízká volatilita	0 - 0,20	Ustálený trh bez větších výkyvů, jako potraviny, banky, doprava.
Střední volatilita	0,20 - 0,30	Papírenství, elektronika, pohostinství, stavebnictví.
Vyšší volatilita	0,30 - 0,60	Počítače, reklama, výzkum a vývoj, lékařství, vzdělávání.
Vysoká volatilita	0,60 – 1,00	Většina internetových technologií a hi-tech produktů, e-commerce, těžba zlata, ropné vrty.

Pro účely ověření návrhu nové metody ve druhé části disertační práce je použita „Expertní“ metoda, založená na analýze [78] a hodnotách, uvedených v [36]. Protože při výpočtech, použitých pro ověření, není důležitá přesná hodnota *volatility*, ale především informace o tom, zda se pohybujeme v oblasti s vyšší nebo nižší *rizikovostí* (*nejjistotou*), je vycházeno ze čtyř intervalů hodnot, které zobrazuje Tabulka 3.



Obrázek 25. Metody stanovení volatility [zdroj: [36]].

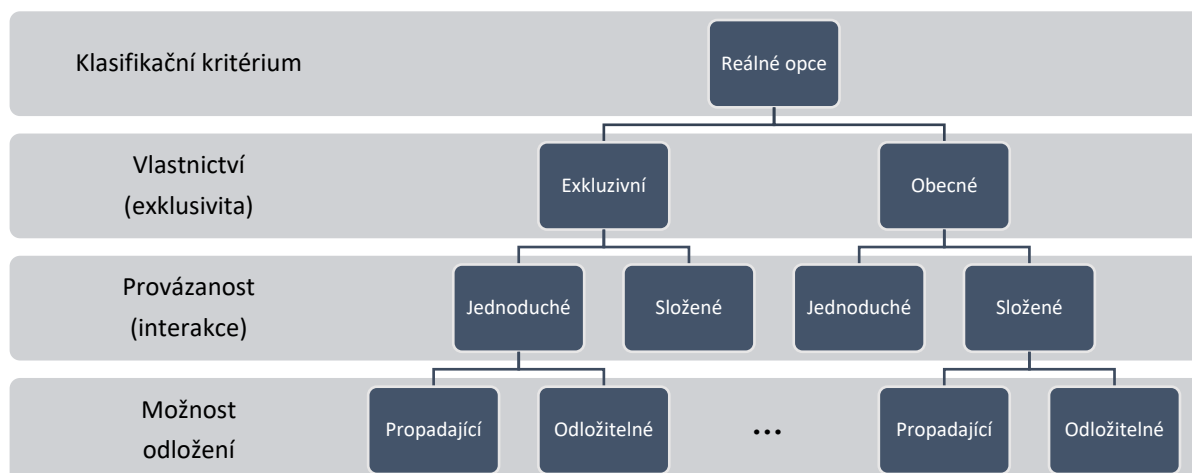
6.2.3 Možnosti dělení Reálných opcí

Podobně, jako lze dělit *finanční opce* (viz kapitola 6.1.1), lze dělit i *Reálné opce*. Vzhledem k tomu, že v realitě může u *Reálných opcí* nastat větší počet různých situací, je dělení složitější. V [79] lze najít několik různých způsobů dělení, které napomáhají v orientaci a výběru konkrétní metody pro výpočet hodnoty *Reálné opce*. První způsob dělení demonstruje Obrázek 26¹⁷. Dělení je provedeno ve třech různých úrovních podle kritérií:

- **Exkluzivita (vlastnictví)** - vliv konkurenčního prostředí. V případě, že má organizace jako jediná právo obci využít, je pro ni *opcí exkluzivní*. Pokud mají stejnou možnost také konkurenti, jde o *opcí obecnou*.
- **Provázanost (složitost)** - *opce* není v praxi jednoduchá (samostatná), ale vytvořená návazností nebo paralelním výskytem několika rozhodovacích situací. Dle složitosti dělíme *Reálné opce* na *jednoduché*, které nepodléhají žádným interakčním vlivům, a *složené*.

¹⁷ Obrázek byl pro zvýšení přehlednosti zjednodušený. Tři tečky v poslední úrovni naznačují stejné dělení na „Propadající“ a „Odložitelné“ i pro další dvě opce z úrovně „Provázanost“, které není v obrázku uvedené.

- **Odložení (změna data expirace)** – v případě, že je realizace opce možná neomezeně dlouhou dobu, jde o *opci odložitelnou*. V případě, kdy je opce po překročení určitého termínu bezcenná, jde o *opci propadající, neodložitelnou*.



Obrázek 26. Základní dělení opcí dle Trigeorgise [zdroj:[80]].

Pro účely této práce je toto dělení příliš obecné. Vhodnější je dělení na *opce*:

- **Strategické** - zahrnují základní rozhodnutí o investicích a předmětu činnosti organizace. Zaměřují se na dlouhodobý rozvoj. Hodnota *opce* se neodvozuje z *toků peněz* získaného bezprostředně z daného projektu, ale z *toků peněz* možných následných investic, vycházejících z podkladového projektu. Jsou tedy vhodné pro manažerskou *flexibilitu*.
- **Operativní** - odrážejí *flexibilitu*, kterou má organizace nad aktuálně vlastněnými aktivy. Dovolují zvýšit potenciální zisk či redukovat riziko ztráty u stávajících projektů a nezahrnují žádná následná nová aktiva.

Disertační práce se pohybuje v oblasti *operativních opcí*, protože se návrhová část zabývá jedním konkrétním projektem. Upřesnění dělení *Reálných opcí* pro tyto účely lze provést dle [81] do tří kategorií a jim odpovídajících typů:

- **Opce učení** - právo umožňující odsunout rozhodnutí na dobu, kdy budou známé rizikové faktory. Jsou často aplikovány v předinvestiční fázi projektu. Díky možnosti vyčkat na dodatečné informace se minimalizuje ztráta spojená s předčasným zahájením projektu, který by nebyl úspěšný. Pokud se vývoj situace ukáže jako nevýhodný, *opce* nebude využita a propadne. Do této kategorie spadají opční typy:
 - *Opce odložení (vyčkávání)* - organizace má možnost vyčkat na další informace nebo změnu na trhu před tím, než realizuje investici. Využívá se v případě, že projekt vykazuje nulové nebo negativní *NPV*, ale má vysokou hodnotu nejistoty. Opce vyčkávání je *kupní opcí*, většinou *amerického typu*. Investovaná částka představuje realizační cenu *opce*, cena *spotová* je reprezentována současnou hodnotou budoucích *Cash Flow* plynoucích z investice. Doba do expirace je čas, na který lze investiční akci odložit.
 - *Opce rozfázování* - dává držiteli právo na vynakládání investičních výdajů postupně. Umožňuje investovat s malým výnosem za vysoké nejistoty, ale s postupným získáváním dodatečných informací o výnosnosti. Pokud

se projekt jeví nevýhodný, je možné jej kdykoliv opustit. V opačném případě je předchozí fáze podkladem pro další krok. Formálně se jedná o *složenou (compound) opci* z několika *kupních opcí*, přičemž předchozí *opce* vždy vstupuje do té následující. Expirační cena se rovná investici při vstupu do fáze. Současnou cenu poslední *opce* tvoří současná hodnota *Cash Flow* v daném období, u ostatních *opcí* je to hodnota následující *opce*. Dobu expirace představuje délka jedné fáze.

- **Růstové opce** - analogie k *opcím strategickým*. Využívají se v průběhu a dokončení investice. Jejich hodnota je určena tvorbou budoucích úspěšných investičních možností. Do této kategorie spadají opční typy:
 - *Opce růstu (inovace)* - někdy označovaná jako *růstová* dává držiteli právo na hodnotu následujících projektů za akceptace již proběhlých projektů. Jedná se o strategická rozhodnutí o dlouhodobých záležitostech organizace, pro která platí, že od nich může management kdykoliv upustit. Jedná se o *americkou kupní opci*, nebo složení několika *kupních opcí (compound opce)*.
 - *Opce rozšíření / zúžení* - jsou často používány ve společnostech během ekonomické expanze. Právo na expanzi umožňuje změnit rozsah projektu a přizpůsobit rozsah produkce aktuální situaci na trhu. Tato opce slouží k využití projektů, jejichž *NPV* vychází nulové nebo záporné, ale již do nich bylo investováno. Opakem je opce *zúžení* projektu, která se využívá při nepříznivém vývoji trhu. Jedná se o *kupní opci* na budoucí *Cash Flow* za cenu investičních výdajů pro rozšíření projektu, nebo o *prodejní opci* za cenu budoucích propadlých *Cash Flow* v případě omezení projektu.
- **Opce jištění** – umožňují vedení provést rychlou reakci na nepříznivou situaci na trhu. Využívají se v období během a po provedení investice. Jejich cílem je minimalizovat ztrátu. Do této kategorie spadají opční typy:
 - *Opce záměny (flexibility)* - volba v případě této *opce* je založená na základě existence několika různých možností průběhu projektu, které jsou různě kombinovány vytvořením jedné složené opce. Vlastník si může zvolit ze dvou možností pokračování projektu. Ponechat *opci* otevřenou a pokračovat v projektu, nebo si vybrat jakoukoliv připravenou *opci*, kterou využije. *Opce* se počítá jako kombinace *americké prodejní opce* (právo na ukončení využívání jednoho vstupu) s *americkou kupní opcí* (právo začít využívat jiný vstup).
 - *Opce přerušení* - právo na dočasné přerušení činnosti při špatném vývoji situace na trhu. Používá se v odvětvích s pravidelnými výkyvy. Podmínkou přerušení je fakt, že cena za úplné zastavení a znovu spuštění nepřevyšuje cenu za minimální nepřetržitý provoz. Jedná se *kupní opci*, která dává právo získat budoucí *Cash Flow* za cenu uhrazení nákladů na výrobu v době přerušení.
 - *Opce ukončení* – tento typ opce je teoreticky zahrnutý ve všech projektech. Dává držiteli opce právo na předčasné ukončení projektu a rozprodání s ním souvisejících aktiv za účelem minimalizace ztrát. Po formální

stránce je to *americká prodejní opce* na hodnotu projektu, s realizační cenou ve výši zůstatkové ceny aktiv. Současnou cenu tvoří hodnota budoucích Cash Flow, které by projekt mohl generovat.

Obecné rozdělení *Reálných opcí* dává základní představu, jakým způsobem lze s *opcemi* na reálných projektech pracovat. Podrobnější přiřazení popsaných typů *Reálných opcí* k základním typům *opcí*, včetně popisu jejich praktické aplikace, je popsáno v následující kapitole 6.2.4.

6.2.4 Přiřazení opčních typů Reálným opcím

Protože *Reálné opce* vycházejí z *opcí finančních*, jsou obecně typu *prodejní / kupní* a *evropská / americká*. Vzhledem k tomu, že se v rámci *Cloud Computingových* projektů, zvažovaných v této disertační práci, vyžaduje *flexibilita* nejen na jeho konci, ale také v průběhu celé jeho životnosti, je dále provedeno omezení jen na *americké opce*. Jednotlivé opční typy z pohledu možné aplikace v oblasti *Cloud Computingu* a *on-premise infrastruktury* popisuje Tabulka 4.

Tabulka 4. Typy Reálných opcí a jejich praktické využití [zdroj: [vlastní]].

Reálná opce	Typ opce	Možnost využití
<i>Odložení</i> (vyčkávání, to wait)	kupní (call)	Využívání minimální kapacity v <i>Cloud Computingu</i> za účelem prověření nutnosti nákupu <i>on-premise</i> nebo navýšení kapacity
<i>Rozfázování</i> (to stage)	složená (compound), provázaná kupní na kupní	Postupné, řízené rozšiřování služeb <i>Cloud Computingu</i> , dokupování komponent v <i>on-premise infrastrukturuře</i>
<i>Růst</i> (inovace, to innovation)	kupní (call), složená (compound)	Možnost budoucího rozšíření portfolia služeb <i>Cloud Computingu</i> nebo <i>on-premise architektury</i> , které mohou rozšířit oblast zaměření organizace
<i>Rozšíření / Zúžení</i> (to alter operating scale)	kupní (call) nebo prodejní (put)	Možnost snižovat / navyšovat výpočetní kapacitu <i>Cloud Computingu</i> nebo dokupovat / prodávat komponenty <i>on-premise infrastruktury</i>
<i>Záměny</i> (flexibility, to switch)	kupní (call) a prodejní (put)	Možnost přechodu mezi <i>Cloud Computingem</i> a <i>on-premise infrastrukturou</i>
<i>Přerušeni</i> (to interrupt)	kupní (call)	Možnost minimalizovat kapacitu <i>Cloud Computingu</i> do doby, než bude zapotřebí vyšší, přepnutí služeb <i>on-premise infrastruktury</i> do <i>Cloud Computingu</i> a zpět
<i>Ukončení</i> (opuštění, to exit)	prodejní (put)	Možnost odprodání <i>on-premise infrastruktury</i> za zbytkovou cenu, prodej všech služeb <i>Cloud Computingu</i>

Tabulka obsahuje tři sloupce. V prvním je popsán typ *Reálné opce*, vycházející z *opčních typů*, popsaných v předchozí kapitole 6.2.3, ve druhém sloupci je uvedeno, zda se jedná o *opci kupní* nebo *prodejní* a poslední sloupec obsahuje krátký popis příkladů možného využití daného typu *opce* v oblasti *Cloud Computingu* a *on-premise infrastruktury*.

Vzhledem k tomu, že v rámci práce je analyzována, hodnocena a srovnávána *flexibilita Cloud Computingu* a *on-premise infrastruktury*, která souvisí s možností

navyšování / ponižování výpočetní kapacity, je v dalším textu pracována již jen s *opcí rozšíření / zúžení (to alter operate scale)*. Nicméně, jak bylo zmíněno v předchozí kapitole 6.2.3, v některých případech se opční typy prolínají nebo skládají a nelze jednoduše konstatovat, že se jedná jen o jeden typ. Proto budou v praktické části pro zjednodušení používány pro pojmenování *Reálných opcí* obecné typy *kupní (call)* a *prodejní (put) opce* všude tam, kde nebude možné jednoznačně stanovit konkrétní typ *Reálné opce*.

6.2.5 Výpočet hodnoty Reálných opcí

Pro výpočet *hodnoty Reálné opce* existuje, podobně jako u *finančních opcí*, celá řada metod, které vycházejí ze stejných výpočetních principů, založených na *flexibilitě, nejistotě a nevratnosti*. Protože se tato práce zaměřuje na *americký typ opce*, bude pro výpočet praktické části využíván *binomický model*, který byl popsán v kapitole 6.1.8. Jeho použití je stejné, jen je třeba správně stanovit vstupní parametry pro jeho tvorbu. Přiřazení parametrů *Reálných opcí* parametrům *finančních opcí* (viz kapitola 6.1.5) zobrazuje Tabulka 5.

Tabulka 5. Mapování parametrů finančních opcí na Reálné opce [zdroj: [36]].

Parametr	Finanční opce	Reálná opce
Současná cena S	současná cena podkladového aktiva	současná hodnota budoucích toků peněz (call opce), současná hodnota likvidované části nebo toků peněz v čase T (put opce)
Realizační cena X	realizační cena podkladového aktiva	investiční výdaj (call opce), zůstatková cena, úspory (put opce)
Čas do vypršení opce T	doba do splatnosti	doba životnosti projektu
Bezriziková úroková sazba r	bezriziková úroková míra	bezriziková úroková míra
σ (popřípadě σ_2)	volatilita podkladového aktiva	volatilita projektu

Dosazením těchto parametrů do příslušných vzorců lze vytvořit odpovídající *binomický strom* a z něj dopočítat *hodnotu Reálné opce*. Na rozdíl od *finančních opcí* je ale stanovení hodnot některých parametrů v případě *Reálných opcí* (například u již zmiňované *volatility* nebo budoucích *toků peněz*) velmi komplikované. Složitost vychází jak z podstaty samotného problému, tak i s ním spojenými odlišnostmi *Reálných opcí* od *opcí finančních*, kterým jsou především [36]:

- **Omezená nebo chybějící obchodovatelnost podkladového aktiva** - odhad hodnoty podkladového aktiva u *Reálných opcí* není tak přesný, jako je tomu u odhadů, vycházejících z obchodování na finančních trzích.
- **Tržní nedokonalost** - *podkladová aktiva* reálných opcí jsou nejen neobchodovatelná, ale také často ještě ani neexistují a budou vytvořena až využitím *opce*. *Hodnota podkladového aktiva* je v tomto případě stanovena jen na základě představ nebo simulační analýzy.

- **Problém komplexity** - *Reálné opce* jsou často opcemi složenými z několika na sebe navazujících *opcí*. Jejich přímá návaznost není ale vždy zřejmá. Jsou tedy mnohem komplexnější a složitější než *opce finanční*.
- **Konkurence** - *Reálná opce* může být sdílená s konkurencí, která svým rozhodováním ovlivňuje *hodnotu opce*. Především má vliv na čas a dodatečné výdaje toku peněz.
- **Problém endogenity** - základní cena investice zpravidla není zcela pevně stanovena. Vedení organizace může urychlit nebo zpomalit časový vývoj čerpáním prostředků a investiční náklady řídit pomocí změny technologického mixu.
- **Agency problém** - osoba, která je zodpovědná za projekt (agent) se může pokoušet vedení organizace přesvědčit o výhodnosti projektu a své informační výhody využít k nadhodnocení skutečné ekonomické hodnoty projektu a jeho přínosů.
- **Exotická opční práva** – *Reálné opce* nemusí představovat jen jednoduché *opce*, ale opce svázané nebo exotické, které existují na více *podkladových aktiv*.

6.3 Zhodnocení Reálných opcí

Metoda *Reálných opcí* zahrnuje do výpočtu jako vstupní parametr hodnotu *flexibility*, která u metod, prezentovaných v kapitole 5, chyběla. Jak bylo ale uvedeno v kapitole 3.4, ne vždy je *flexibilita* vyžadována a tím pádem použití metody dává smysl. Na závěr kapitoly o *Reálných opcích* je tedy vhodné stanovit, pro hodnocení jakých *investičních projektů* je vhodné a možné metodu použít. Dle [36] má projekt charakter *Reálné opce* v případě, že:

- Existují nevratné náklady, které jsou vynakládány za naději, že s časovým odstupem a po získání více informací bude možné realizovat akci, výhodnou pro organizaci, která projekt realizuje.
- Předpoklady budoucího uplatnění:
 - Organizace je schopná reálně na změnu situace reagovat.
 - Nejistota je na takové úrovni, že je reálně možné, že *flexibilita* bude skutečně využita.

V případě této disertační práce se předpokládá, že všechny projekty, které by mohly využít navrženou novou metodu finančního hodnocení *flexibility*, tyto podmínky splňují. V následující kapitole, jsou shrnuty výstupy provedené rešerše existujících zdrojů, dokumentujících použití *Reálných opcí* v oblasti *IT investic* a *Cloud Computingu*, jako zdroj podkladů (inspirace) pro druhou, návrhovou část práce. Některé z výstupů rešerše byly zapracovány také do první části, zahrnující tuto a předchozí kapitoly.

7 Rešerše využití Reálných opcí v Cloud Computingu

Z analýzy, provedené v předchozích kapitolách, vyplynulo, že metoda *Reálných opcí* se jeví být vhodnou metodou pro porovnání investic do *Cloud Computingu* a *on-premise infrastruktury* s ohledem na parametr *flexibility*. Protože jak metoda, tak i technologie jsou k dispozici již delší dobu, bylo vhodné provést dříve, než se řešil návrh a aplikace metody, rešerši existujících zdrojů a zjistit, zda podobnou úlohu již někdo neřešil. Kapitola popisuje výstupy provedené rešerše existujících zdrojů a hodnotí jejich možné využití v návrhové části této disertační práce.

Rešerše je rozdělena do dvou částí. V první části je provedeno krátké shrnutí stavu propojení metod *Reálných opcí*, *IT Infrastruktury* a *Cloud Computingu* do roku 2010, které vychází především z podkladů odborné studie autora a několika jeho článků. Druhá část popisuje detailní rešerši, která byla provedena začátkem roku 2017 pro ověření aktuálního stavu a doplnění nových požadavků na rešerši, vycházejících z práce na návrhu nové metody.

7.1 Cloud Computingu a Reálné opce do roku 2010

O možném propojení *Reálných opcí* a *Cloud Computingu* se začalo uvažovat téměř od doby, kdy se *Cloud Computing* stává „vážnou konkurencí“, do té doby standardního, řešení *on-premise infrastruktury*. První seriózní debata odborníků k této problematice proběhla již v roce 2001 a jejím výstupem bylo především konstatování faktu, že metoda by mohla být pro hodnocení využitelnosti *Cloud Computingu* vhodná, ale vyžaduje zjednodušení, aby byla jednoduše uchopitelná a především srozumitelná i pro odborníky, kteří nedisponují ekonomickým vzděláním [82]. Tento závěr jakoby předestřel budoucnost využití metody *Reálných opcí* v této oblasti. Přestože proběhla celá řada pokusů o využití metody v praxi, není její využití takové, jaké by reálně mohlo být. Jedním z důvodů je zmiňovaná složitost.

Klíčovým parametrem, který odborníci ve své debatě zdůrazňovali a na kterém je založena i tato disertační práce, je *flexibilita*, která se v metodě *Reálných opcí* projevuje v parametru *volatility*. V souvislosti s *IT infrastrukturou* a jejím vyčíslením lze najít několik publikací, které se touto problematikou zabývají, například [83] nebo [84].

Z pohledu konkrétního využití metody v praxi existují publikace, které popisují využití metody pro hodnocení implementace nového software, aktualizace existujícího systému nebo vyhodnocení smysluplnosti přechodu na novou verzi systému. Obvykle ve formě případových studií. Najít lze například případovou studii, diskutující důvody přechodu na novější verzi systému SAP, která obsahuje více funkcí, než aktuálně používaná verze [85]. Jiná studie zase rozebírá problematiku rozhodování o nasazení ERP systému pomocí metody *Reálných opcí*, která pomáhá řešit problém existujících nejistot, s implementací systému spojených [86]. Dále lze najít například články, které popisují nový *framework* pro použití *Reálných opcí* při hodnocení *IT investic* [87], problematiku vhodného načasování investice [88] nebo model pro hodnocení technologických projektů v prostředí, kde existuje velké množství různých zdrojů *rizik* [89]. Obecnější pohled na hodnocení projektů, orientovaných na vývoj software a akvizici do již probíhajících projektů popisuje [90]. Tyto a jim podobné publikace popisují především pohled konzumentů a hodnocení jejich požadavků s ohledem na realizaci *IT projektu*.

Najít lze i publikace, které se zabývají problematikou poskytovatelů *Cloud Computingových* služeb, respektive migrací kompletní *IT infrastruktury* do *Cloud Computingu*. Například [91] popisuje migraci do služeb poskytovatele Amazon EC2, [92] framework pro rozhodování o (ne)přesunu *IT infrastruktury* do *Cloud Computingu*, včetně dvou případových studií použití *frameworku*.

Z krátkého přehledu by se mohlo zdát, že metoda se již historicky používala a v současnosti by mohla být zařazena mezi standardně používané metody. Jak ale vyplynulo z druhé, detailní, rešerše, provedené začátkem roku 2017, realita je z tohoto pohledu jiná.

7.2 Cloud Computing a Reálné opce po roce 2010

Protože, podobně jako v jiných technologických oblastech, jde v oblasti *Cloud Computingu* pokrok rychle kupředu, bylo v rámci práce na návrhové části disertační práce rozhodnuto, že se začátkem roku 2017 provede ještě jedna rešerše existujících zdrojů, aby se ověřilo, zda nedošlo k posunu v řešené oblasti, neobjevily se nové skutečnosti, které je nutné zpracovat do návrhové části disertace a zda nedošlo k většímu propojení obou přístupů. Také se objevilo několik nových požadavků, především v oblasti exotických opcí s pamětí, které nebyly v rámci první provedené rešerše reflektovány. Výstupy jsou zpracovány nejen v této disertační práci, ale také diplomové práci studenta Martina Mastného¹⁸, který významným způsobem přispěl k jejímu vypracování [93].

7.2.1 Předmět provedené rešerše

V souvislosti s potřebami této disertační práce byly formulovány následující čtyři otázky:

1. Byla metoda Reálných opcí aplikována na investice do *IT*?
2. V případě, že ano, byla aplikována na oblast *Cloud Computingu*?
3. Pokud byla aplikována, tak jakým způsobem (přístupem)?
4. Používala některá z nalezených metod princip paměti? Respektive, bylo nutné při výpočtu *vnitřní hodnoty opce* nutně znát hodnoty předchozích uzlů binomického stromu?

První tři otázky slouží ke zmapování aktuální situace a z odpovědí lze vyčíst, zda se metoda používá a jakým způsobem. S ohledem na obsah předchozí kapitoly 7.1 se dalo očekávat, že odpovědi budou kladné. Proto byly hlavním přínosem především kvantifikace (množství provedených aplikací metody) a použité přístupy k aplikaci metody. Poslední, čtvrtá otázka, souvisí přímo s návrhovou částí této disertační práce, kde je aplikován princip paměti, zmíněný v kapitole 6.1.9 o *exotických opcích*. Smyslem otázky bylo zjistit, zda podobnou otázku neřešil i někdo další a v případě, že ano, tak jakým způsobem.

7.2.2 Metodika provedení rešerše

Rešerše existujících dokumentů byla provedená na základě metodiky, specifikované v [94]. Pro nalezení relevantních odpovědí s garantovanou kvalitou byly použity následující informační databáze: ACM Digital Library, EBSCO, IEEE Xplore, Scopus, SpringerLink and Web of Science. Do rešerše byly zahrnuty jen ty nalezené dokumenty, jejichž plný text byl dostupný online a jazyk textu byla angličtina nebo čeština. Rozsah hledání

¹⁸ Vedoucím diplomové práce byl autor této disertační práce.

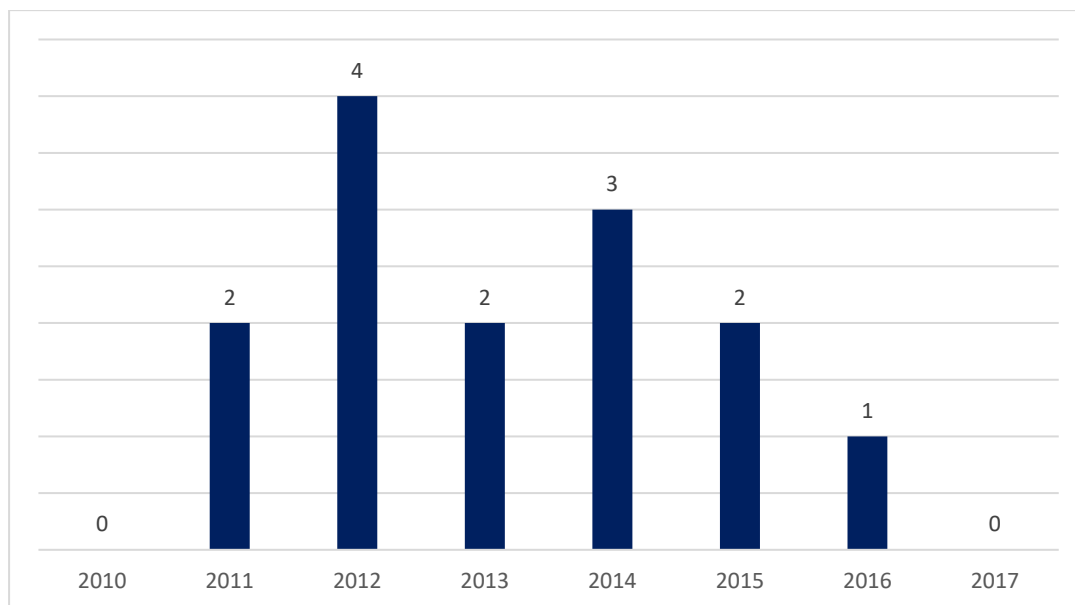
byl dále omezený jen na dokumenty, které vznikly v roce 2010 nebo později. Nalezené dokumenty byly analyzovány a ty, které byly využitelné pro tuto práci, byly zahrnuty do seznamu použité literatury. Seznam všech publikací, které byly na základě hledání analyzovány, obsahuje Příloha A.

Celý rešeršní proces proběhl ve třech fázích:

1. **Ověřovací fáze** – v prvním kroku bylo provedeno pilotní hledání pro ověření metodiky a nastavení způsobu dotazování. Pro tyto účely byly použity informační databáze ACM Digital Library. V rámci hledání byly použity klíčová slova (v české i anglické verzi) „**real option**“, „**information technology**“ a později, na základě výstupů i „**information system**“. Tato klíčová slova byla vyhledávána v titulcích, abstraktech a klíčových slovech uložených dokumentů. Na základě hledání bylo nalezeno přes 100 odpovídajících dokumentů, což potvrdilo předpoklad, že hodnocení *IT investic* prostřednictvím metody *Reálných opcí* se používá (používalo). Z nalezeného množství dokumentů byly vybrány čtyři, které lze považovat za typické zástupce z různých průmyslových segmentů. Na základě zjištění, že propojení metod se používá, byla zahájena druhá fáze hledání, pokrývající všechny databáze.
2. **Fáze Cloud Computingu** – ve druhé fázi bylo hledání omezeno na dokumenty, které z pohledu *IT* a *IT infrastruktury* zahrnovaly spojení s *Cloud Computingem*. Hledání probíhalo obdobným způsobem jako v pilotní fázi. Odlišnost byla jen v hledaných klíčových slovech, která v této fázi zahrnovala (v české i anglické verzi) klíčová slova „**real option**“, „**ROA**“, „**Cloud**“ a „**SaaS**“. Také bylo hledáno ve všech uvedených informačních databázích. Celkem bylo nalezeno 14 dokumentů, z nichž pět svým charakterem odpovídalo problematice, řešené v rámci této disertační práce. Menší množství dokumentů potvrzuje skutečnost, že metoda *Reálných opcí*, zřejmě není jednoduše uchopitelná a také při běžném použití (jak je popsáno v kapitole 8) nepřináší žádnou přidanou hodnotu vůči hodnocení pomocí metody *TCO*.
3. **Fáze hledání opce s pamětí** – vzhledem k tomu, že v návrhové části disertace je použit princip *exotických opcí s pamětí*, byly v rámci třetí, doplňující fáze, hledány dokumenty, které zahrnují i klíčová slova (v české i anglické verzi): „**real option with memory**“, „**real option**“, „**ROA**“ a „**binomial**“. Protože tento typ opcí není běžný, byly hledány nejen dokumenty z oblasti *IT infrastruktury*, ale ze všech průmyslových segmentů. V tomto případě nebyl nalezen žádný dokument, který splňoval vyhledávací kritéria. Tento výstup byl očekávaný, protože metoda, která je použita v této práci, se zdá být v tomto směru unikátní. Přestože se nepovedlo nalézt dokumenty, které odpovídaly vyhledávacím kritériím, povedlo se v rámci hledání identifikovat dva typy *Reálných opcí*, které se podobaly problematice, řešení v návrhové části této disertační práce. Z této fáze hledání byly nakonec do práce zařazeny čtyři dokumenty, které posloužily jako zdroj inspirace pro využití *Reálných opcí s pamětí*.

7.2.3 Statistická analýza výstupů provedené rešerše

Z pohledu statistických dat přinesla rešerše několik zajímavých údajů. Časové rozložení dokumentů, které mají souvislost s *Cloud Computingem* zobrazuje Obrázek 27.



Obrázek 27. Počty dokumentů s tematikou Cloud Computingu [zdroj: [93]].

Z celkového počtu čtrnácti dokumentů jich bylo nejvíce publikováno v roce 2012 a 2014. Jelikož ale celkové počty v jednotlivých letech nejsou vysoké, dá se z výstupů usoudit, že zájem o problematiku je kontinuálně nízký.

Nejvíce dokumentů bylo nalezeno v databázi SpringerLink a IEEE, některé z dokumentů byly současně nalezeny ve více databázích. Z pohledu autorů, jak ukazuje Příloha A, je vidět, že někteří autoři vydali v daném období více dokumentů a zřejmě se o problematiku zajímají dlouhodobě. Ostatní publikovali jen jeden dokument a tato skutečnost se opět zdá být potvrzením, že propojení metod není lehce uchopitelné nebo v podobě, popsané autory není z hlediska dalšího zkoumání „zajímavé“.

7.2.4 Analýza obsahu výstupů provedené rešerše

V rámci hledání, popsaného v kapitole 7.2.2, bylo nalezeno a pro účely této práce využito celkem 22 dokumentů, jejichž seznam obsahuje příloha A. Z obecného pohledu na propojení *Reálných opcí* a *IT infrastruktury* je možné vysledovat trend, že jsou spojovány především s *emerging technologiemi*, jako je Internet věcí (IoT) [95], RFID [96] a Smart Gridy [97] a jejich využitím ve firemním prostředí. Důvody, proč byla metoda *Reálných opcí* zvolena, odpovídá schopnosti zahrnutí *rizik* a nejistot, které v sobě *emerging technologie* z vlastní definice tohoto typu technologií zahrnují. *Cloud Computing* se v současné době za *emerging technologii* pro svoji rozšířenost již nepovažuje, což může být jeden z důvodů menšího použití metody.

Dokumentů, které popisují přímé použití metody v oblasti *Cloud Computingu* neexistuje mnoho (viz kapitola 7.2.2). Většina z nich popisuje použití *americké opce*, *evropské opce* jsou uváděny v minimálním počtu. Stejně tak se většina nalezených dokumentů věnuje *opcím kupním*, protože řeší otázku rozšiřování nebo přechodu na vyšší verzi software. A to přesto, že vzhledem k *flexibilitě* této technologie, se toto propojení přímo nabízí. Z pohledu této disertační práce byly využity dokumenty, které popisovaly:

- Hodnocení technologických nedostatků v architektuře, orientované na služby v prostředí *Cloud Computingu* (Cloud-Based Service-Oriented Architecture) s ohledem na kvalitu poskytovaných služeb QoS (Quality of Service). Diskutovány

jsou otázky přechodu z jedné služby na jinou [98], zvažováním dvou různých *růstových opcí* [99] a hodnocením časové *flexibility* prostřednictvím *vyčkávací opce* [100].

- Porovnání *SaaS* a tradičního *on-premise IT* [101], kde se jako v jednom z mála článků řeší *prodejní opce* ve formě *opce na ukončení* projektu a demonstruje výhodnost využití *Cloud Computingu*.
- Problematika přechodu z *on-premise infrastruktury* do *Cloud Computingu*, v rámci které se zvažují všechny aspekty přechodu a náklady s tím spojené, včetně například migrace dat [102]. *Reálné opce* pomáhají vyčíslit všechna, s přechodem spojená, rizika. Pro výpočet *hodnoty Reálné opce* se nevyužívá *binomický*, ale modifikovaný *spojitý model*.

Mimo dokumentů, zaměřujících se na konzumenty *Cloud Computingových* služeb, bylo opět nalezeno i několik dokumentů, které problematiku hodnotí z pohledu poskytovatelů *Cloud Computingových* služeb a zaměřují se na optimalizaci federace poskytovaných služeb [103] a [104].

Posledním analyzovaným bodem bylo využití *exotických opcí*, které určitým způsobem do výpočtu *hodnoty Reálné opce* reflektují historický průběh hodnot *podkladového aktiva*. Ve spojitosti s *Cloud Computingem* a *IT technologiemi* nebyl, dle očekávání, nalezen žádný dokument. Nicméně, povedlo se najít několik článků, které používaly podobné přístupy, jako jsou použity v návrhové části této disertační práce. Například *složené opce* [105] nebo *dynamické programování* pro tvorbu *binomického stromu* [106].

7.2.5 Celkové vyhodnocení provedené rešerše

Smyslem provedené rešerše bylo získat aktuální pohled na propojení *Cloud Computingu* a metody *Reálných opcí ve formě* odpovědi na otázky, definované v kapitole 5. Výsledkem provedení rešerše jsou následující odpovědi:

1. Byla metoda Reálných opcí aplikována na investice do IT? – **Ano**. Metoda je používána a bylo nalezeno přes 100 záznamů, které propojení metody a IT technologií popisují.
2. V případě, že ano, byla aplikována na oblast Cloud Computingu? – **Ano**. V souvislosti s *Cloud Computingem* a ve vztahu k této disertační práci bylo nalezeno celkem 14 odpovídajících dokumentů.
3. Pokud byla aplikována, tak jakým způsobem (přístupem)? – většina metod, které byly autory článku popisovány, využívala *opce růstové* nebo *opce záměny (flexibility)*. V několika dokumentech byla zmínka o opci *opuštění projektu* nebo *vyčkávací*. Z obecného pohledu byla většina *opcí kupních* a *amerických*.
4. Používala některá z nalezených metod princip paměti? Respektive, bylo nutné při výpočtu vnitřní hodnoty opce nutné znát hodnoty předchozích uzlů binomického stromu? – žádný z analyzovaných dokumentů, týkajících se *IT technologií*, nutnost znalosti předchozích hodnot nezmiňoval. Tento typ *opcí* je zmiňován jen v souvislosti s *opcemi finančními*.

Odpovědi na první tři otázky potvrdily, že má smysl se problematikou propojení *Reálných opcí* a *Cloud Computingu* zabývat, protože podobné práce existují, ale není jich mnoho. Popisovaná problematika se ve většině případů zaměřuje na základní chápání problematiky a její aplikaci na konkrétní situace. Především všude tam, kde existuje

mnoho rizik a nejistot. V žádném dokumentu nebyla detailněji řešena problematika *flexibility* a její navázání na parametr *volatility*.

Poslední, čtvrtá, otázka měla za cíl zjistit, zda nově navrhovaná metoda (viz kapitola 11) nebo jí podobný přístup nebyly již použity a v případě, že ano, tak jaké byly výsledky jejich aplikace. Z výsledků rešerše vyplynulo, že nebyly. Tento výstup, společně s výstupy z předchozích tří otázek potvrzuje, že navržená a aplikovaná metoda této disertační práce je svým způsobem unikátní a jejím přínosem je stanovení finanční hodnoty *flexibility Cloud Computingu*, jako dalšího parametru pro zvažování (ne)využití této technologie pro provoz vybraných *IT služeb* nebo dokonce kompletní *IT infrastruktury*.

7.3 Zhodnocení Reálných opcí

Provedené rešerše použití metody *Reálných opcí* pro hodnocení a posuzování využití *Cloud Computingu* a *on-premise infrastruktury* v organizaci uzavírají první část této disertační práce, která dává odpověď na první výzkumnou otázku a která pro připomenutí zní: „Je metoda Reálných opcí využitelná pro finanční hodnocení investic do Cloud Computingu?“ Odpověď na tuto otázku zní: „Ano, metoda je využitelná“. Analýza vlastností ukazuje na možnost propojení prostřednictvím *flexibility* a *volatility*. Výstupy provedených rešerší existujících dokumentů demonstrovaly praktické použití metody na vybraných praktických příkladech.

Provedené rešerše existujících dokumentů také ukázaly, že použití obecné metody *Reálných opcí*, nepřináší vůči jiným metodám finančního hodnocení výraznou přidanou hodnotu. Základní vzorec (26) říká, že spočítáním hodnoty *opce* získáváme hodnotu *flexibility*, která se týká možnosti odložení rozhodnutí. Z pohledu porovnání *Cloud Computingu* a *on-premise infrastruktury* byly praktické aplikace metody zaměřeny především na odložení investice do *on-premise infrastruktury* a obecné hodnocení, zda má smysl v prostředí plném nejistot a *rizik* smysl uvažovat o vysoké investici. Je zajímavé, že nikdo hlouběji nezkoumal identifikované propojení prostřednictvím parametru *volatility* a schopnosti *flexibility*. Proto byla formulována druhá výzkumná otázka: „Jaká je přidaná hodnota metody Reálných opcí vůči ostatním metodám hodnocení a proč je vhodné ji pro finanční hodnocení investic do Cloud Computingu použít?“ na kterou je odpovězeno v následující kapitole 8.

8 Praktické ověření obecných možností metody Reálných opcí

V úvodu práce bylo zmíněno (závěr kapitoly 1), že myšlenka využití metody *Reálných opcí* pro hodnocení *flexibility Cloud Computingu* vychází z realizace grantového projektu TA01010784 – „Využití výpočetního výkonu cloud technologie pro zpracování inteligentních elektronických formulářů.“ V části, která se týkala ekonomického hodnocení způsobu provozu a poskytování elektronických formulářů uživatelům, se hledala metoda, která by jednoduchým způsobem umožnila porovnat náklady na provoz při použití *on-premise infrastruktury* a *Cloud Computingu*. Na základě výstupu porovnání by se mohl poskytovatel formulářů rozhodnout, které řešení infrastruktury je pro něj výhodnější.

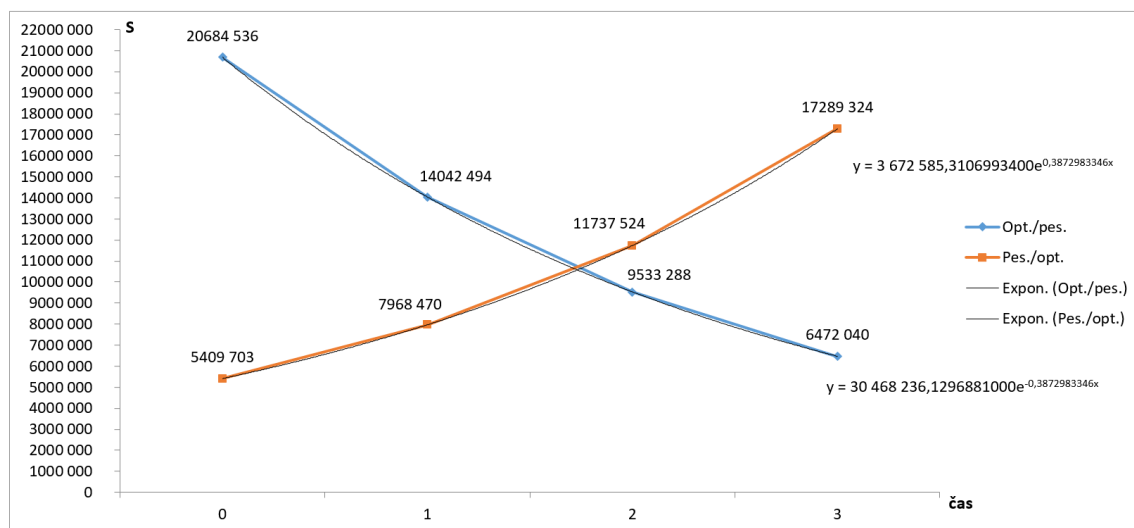
Výstupem projektu byla metoda, založená na celkových nákladech na vlastnictví TCO (viz kapitola 5.2.3) [107]. Volba tohoto způsobu hodnocení vycházela z předchozích zkušeností společnosti Software 602 a. s., na základě kterých je možné podle typu a rozsahu formuláře odhadnout potřebný výpočetní výkon, nutný pro provoz jednoho formuláře. Když se tento výkon vynásobí očekávaným počtem formulářů, lze navrhnout jak výslednou podobu infrastruktury, tak i spočítat celkové náklady na provoz. Slabinou metody je závislost na přesnosti odhadu očekávaného počtu zpracovávaných formulářů a jejich rozložení v rámci definovaného časového období, kterým je nejčastěji jeden rok. Výsledná hodnota reflektuje jen maximální požadavky na výpočetní výkon bez jakéhokoliv zohlednění časové složky, čímž úplně potlačuje *flexibilitu* využití nutného výpočetního výkonu.

Neschopnost vyčíslit *flexibilitu*, která je považována za klíčovou vlastnost *Cloud Computingu* (viz kapitola 2.4), byla výchozí motivací této disertační práce. Autor práce se pokoušel inspirovat různými existujícími metodami a přístupy hodnocení investic, ale žádná z nich nebyla schopna *flexibilitu* potřebným způsobem vyčíslit a oddělit od výpočtu výnosů a nákladů (viz kapitola 5). Jedinou metodou, která se ukázala být schopná s *flexibilitou* pracovat, protože ji zahrnuje jako samostatný parametr do výpočtu, byla metoda *Reálných opcí*, na jejímž základě byly v disertační práci navrženy a ověřeny dvě varianty nové metody hodnocení.

První autorovy pokusy o aplikaci metody na srovnání *flexibility on-premise infrastruktury* a *Cloud Computingu* byly zdokumentovány a prezentovány ve [108]. Do ověření možností aplikace metody *Reálných opcí* byli zapojeni v rámci svých závěrečných prací také studenti Fakulty elektrotechnické a Fakulty informačních technologií ČVUT v Praze. Za zmínku stojí především diplomové práce Veroniky Dvořákové [109] a Veroniky Noskové [110], vypracované pod vedením autora disertační práce. V obou pracích se hledal *framework*, který by aplikaci metody *Reálných opcí* umožnil jednoduše uchopit i méně zkušeným a ekonomicky znalým uživatelům. *Framework* byl zaměřený na nově vznikající společnosti, nazývané start-upy, protože u nich se předpokládá vysoká míra *nejistoty* a *rizik*.

Práce Veroniky Dvořákové vznikla v rámci spolupráce se společností IBM a pokusila se obecně uchopit přechod od prvotního nápadu na novou službu až k její praktické realizaci. Bylo prezentováno, jak pomocí obecných metod navrhnout očekávaný růst zákazníků a prostřednictvím znalostí o technologiích překlomit tuto znalost na konkrétní komponenty výpočetního výkonu. Tyto informace byly následně použity pro výpočet *opce odložení* investice do *on-premise infrastruktury*, kdy se na přechodnou dobu, nutnou

pro ověření předpokládaného růstu zákazníků, předpokládalo využití *Cloud Computingu* jako dočasného výpočetního výkonu. Práce Veroniky Noskové na tuto práci navázala, když první verzi *frameworku* aplikovala na konkrétní reálnou společnost a jí připravovaný nový produkt. Na základě výsledků aplikace *frameworku* provedla zobecnění postupu a vytvořila druhou verzi *frameworku*. Zajímavou část práce Veroniky Noskové představuje návrh způsobu kontroly odhadu očekávaných budoucích toků S . Byla navržena nová metoda, která pomocí „optimisticko-pesimistických“ a „pesimisticko-optimistických“ scénářů ověřuje správnost počátečního odhadu hodnoty S . Princip metody vychází ze dvou odhadů. Nejdřív se odhadne optimistická hodnota S a pro ni se spočítá rozvoj hodnot pomocí koeficientu d v čase, neboli pesimistický scénář budoucího vývoje. Podobně se odhadne pesimistická hodnota S a na ni se aplikuje rozvoj hodnot pomocí koeficientu u , neboli optimistický scénář. V čase, kde se obě křivky rozvoje protnou, získáme pravděpodobnou výchozí hodnotu S , kterou může porovnat s prvotním odhadem nebo ji použít jako základ výpočtu hodnoty *Reálné opce*. Ukázkou tohoto postupu zobrazuje Obrázek 28.



Obrázek 28. Průnik optimistického a pesimistického očekávání [zdroj: [110]].

Na ose x jsou zobrazeny hodnoty času a na ose y jsou vyneseny hodnoty budoucích toků S . V uvedené diplomové práci se hodnota průniku křivek blížila prvotnímu odhadu hodnoty S , což vedlo k přesvědčení, že jsou zvolené vstupní hodnoty správné. Protože ale navržená metoda kontroly silně závisí na hodnotě *volatility* a dvou odhadech („optimistický“, „pesimistický“) hodnoty S místo jednoho, které mohou způsobit, že se křivky nemusí nikdy protnout, nebyla myšlenka kontroly odhadu hodnoty S dále rozvíjena.

Výstupy z těchto a dalších, autorem provedených, aplikací obecné metody *Reálných opcí* byly publikovány a prezentovány v [33]. Z praktického pohledu nebyly výsledky ničím přínosné, protože jejich závěry byly vesměs obdobné, jako u publikací, získaných v rámci provedených rešerší, popsanych v předchozí kapitole 7 a jen je potvrdily.

Ve většině případů se aplikovala *opce odložení* investice do *on-premise infrastruktury* na dobu, kdy bude známo, zda má nebo nemá smysl opustit „dočasné“ použití *Cloud Computingu*. Při srovnání s výstupy, získanými použitím jednodušších metod (viz kapitola 5), nepřinášelo použití metody *Reálných opcí* žádnou výraznou přidanou hodnotu, která by kompenzovala složitost jejího použití a poskytla novou informaci pro rozhodování o výběru typu infrastruktury. Lišily se jen absolutní výstupní hodnoty, udávajících o

kolik je využití *Cloud Computingu* výhodnější. Proto bylo nutné se na problematiku podívat z jiného úhlu pohledu a uchopit ji jiným způsobem.

V případě této práce byla při aplikaci obecné metody jako nová identifikovaná, a dále rozvinutá, myšlenka, zaměřující se na problematiku *flexibility* „zevnitř“ infrastruktury. Zjednodušeně si pod tím lze představit vytvoření rozvoje *binomického stromu* budoucích toků *S* a porovnání chování *on-premise infrastruktury* a *Cloud Computingu* z pohledu poklesů a nárůstů hodnot *S*, převedených na potřebný výpočetní výkon.

Identifikací nového přístupu k hodnocení *flexibility* na základě metody *Reálných opcí* byla získána odpověď na druhou výzkumnou otázku: „Jaká je přidaná hodnota metody Reálných opcí vůči ostatním metodám hodnocení a proč je vhodné ji pro finanční hodnocení investic do *Cloud Computingu* použít?“, která zní: „Prostřednictvím metody Reálných opcí je možné pro konkrétní IT investiční projekt porovnat a vyhodnotit flexibilitu různých způsobů realizace IT infrastruktury.“

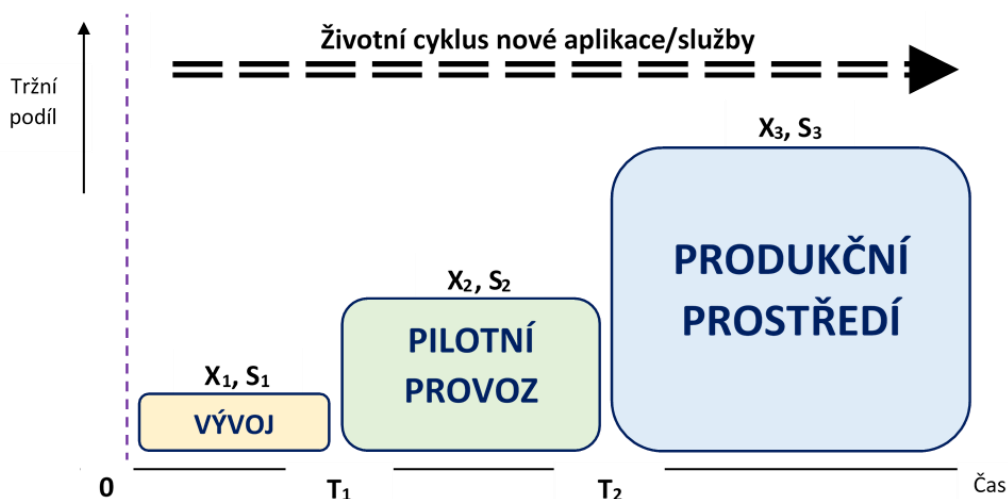
S odpovědí na druhou výzkumnou otázku automaticky přišla formulace třetí, poslední, výzkumné otázky, která zní: „Je možné nalezenou přidanou hodnotu metody z celkové vypočtené hodnoty Reálné opce získat a použít pro rozhodování o investici?“ Odpověď na tuto otázku dávají následující kapitoly, v rámci kterých jsou navrženy a ověřeny dvě varianty nové metody, která kombinuje základní typy *opcí* (kupní, prodejní) a zkoumá jak potřebu navyšování, tak ponižování výpočetního výkonu na základě potřeb konzumentů služeb. Základy metody byly publikovány v [68].

9 Vstupní předpoklady návrhu nové metody hodnocení flexibility

Dříve, než bude nová metoda hodnocení *flexibility* popsána, je nutné specifikovat předpoklady, ze kterých metoda vychází a které definují požadované vstupní hodnoty a význam hodnot výstupních. Předpoklady vycházejí z obecných definic a informací, uvedených v kapitolách 2 až 6, výstupů autorem provedených rešerší, vyhodnocených v kapitole 7 a výsledků autorovy praktické aplikace obecné metody *Reálných opcí*, analyzovaných v kapitole 8.

Výchozím předpokladem je, jak bylo zmíněno v úvodu kapitoly 6, podobnost problematiky *Cloud Computingu* s problematikou *utilit*. Řeší se nejistota v plánování investic do *IT infrastruktury*, spojená s provozem nové služby (produktu), kterou představuje IT systém / aplikace (popřípadě kombinace systémů / aplikací). Předpokládá se, že existují dvě, z hlediska kvality a výkonnosti srovnatelné alternativy realizace (*on-premise infrastruktura* a *Cloud Computing*), jejichž srovnání dává smysl.

Pro uvažovaný typ služeb je typické, že jejich životní cyklus lze rozdělit na tři obecné fáze, jak ukazuje Obrázek 29.



Obrázek 29. Fáze vývoje a nasazení produktu [zdroj: vlastní].

První dvě fáze jsou spojené s vývojem a testováním služby. V jejich rámci získá poskytovatel služby představu o základních požadavcích služby na výpočetní výkon. Nejpozději během pilotní fáze (provozu) musí poskytovatel vytvořit prvotní odhad budoucích toků S , které bude nová služba generovat a odhadnout nejistoty prostředí provozu služby, vyjádřené parametrem *volatility*. Z těchto údajů vytvoří *byznys strategii*, kterou aplikuje ve třetí, produkční fázi (prostředí). Vzhledem k závislosti na okolním prostředí a nejistotě zájmu potenciálních konzumentů služby je klíčové, aby použitá *IT infrastruktura* byla v této třetí fázi dostatečně *flexibilní* a umožňovala jak navýšení, tak snížení výpočetního výkonu.

Nově navrhovaná metoda pokrývá jen třetí fázi. Z pohledu *IT infrastruktury* to znamená, že se navrhuje infrastruktura produkčního prostředí na základě známých odhadů

budoucích toků S_3 . Pro navrženou infrastrukturu a na základě odpovídajících nákladů X_3 se hodnotí a porovnává *flexibilita Cloud Computingu* a *on-premise infrastruktury*.

Hodnota nákladů X_3 v případě *Cloud Computingu* vychází z pravidelných poplatků za využívání výpočetní kapacity. Pro *on-premise infrastrukturu* vychází hodnota X_3 z nákladů na pořízení nových komponent. Vzhledem k tomu, že u *on-premise infrastruktury* je díky typu nákladů (CAPEX) a fyzické podobě jednotlivých komponent infrastruktury komplikovanější jak pořizování nové, tak uvolňování nevyužité kapacity, je v rámci navržené metody pro zjednodušení stanovený předpoklad, že jednou pořízenou komponentu *on-premise infrastruktury* nelze během její životnosti odprodat nebo pronajmout k jinému využití. Životnost všech komponent se předpokládá stejná a rovná délce životnosti investičního projektu. Stejně tak nejsou řešeny účetní záležitosti jako odpisy, splátkový nákup nebo pronájem, které by mohly hodnocení *on-premise infrastruktury* významným způsobem ovlivnit a zkomplikovat.

Flexibilita je zkoumána s ohledem na změnu podmínek, vycházejících z generování *binomického stromu* pomocí výpočtu hodnoty *americké opce* (viz kapitola 6.1.8). Porovnávají se náklady na rozšíření nové výpočetní kapacity a ušetřené náklady za nevyužitou kapacitu, uvolněnou při snížení požadavků na výpočetní výkon. Alternativně by mohlo být použito generování *binomického stromu*, popsané v [68], založené na základě rozvoje rozdílů v nákladech X_3 na pokrytí požadavků, daných odhadem hodnoty S_3 . Jelikož je ale tento typ rozvoje jen jinou formou rozvoje hodnoty S_3 , byl nakonec použitý přímý rozvoj této hodnoty.

Vzhledem k tomu, že náklady za využití výpočetního výkonu *Cloud Computingu* jsou obvykle vynakládány na měsíční bázi, je základní jednotkou období životnosti projektu T jeden měsíc¹⁹. Celková doba životnosti projektu T je tak vždy násobkem počtu měsíců n , které udávají počet období, na které je doba životnosti projektu rozdělena. Pokud by se pro výpočet použilo období delší než jeden měsíc, bylo by nutné pro výpočet nákladů *Cloud Computingu* aplikovat princip diskontování plateb za různý počet měsíců. Tím by se celý výpočet výrazně, a především zbytečně zkomplikoval. Podobně by se výpočet zkomplikoval, kdyby se uvažovalo období kratší než jeden měsíc.

Zkrácení období na jeden měsíc vede k nutnosti provedení korekce hodnoty vstupního parametru bezrizikové úrokové míry r . Ta je definována jako roční a pro použití na období jednoho měsíce je nutné ji přepočítat na hodnotu **efektivní úrokové míry** r_e [47]. V důsledku toho je následně nutné místo jednoduchého diskontování použít diskontování spojitě [47]. Rozdíly výstupních hodnot mezi oběma typy nejsou zásadní²⁰ a pro typy výpočtů, použitých i v této práci, je spojitě diskontování, vzhledem ke své matematické použitelnosti, doporučovanější metodou [111].

Výpočet navržené metody je založený na výpočtu hodnoty *americké opce*. Konkrétně se kombinuje *opce prodejní* a *kupní*. V případě nárůstu požadavků na kapacitu se vnitřní hodnota počítá na principu *kupní opce* a při poklesu na principu *opce prodejní*. Hodnoty jsou v obou případech počítány ze změn nákladů pro jednotlivé typy infrastruktury. Tato kombinace je svým způsobem unikátní, protože v rámci provedené rešerše existujících zdrojů a analýzy jejich výstupů, viz kapitola 7.2.4, se nepovedlo najít podobně za-

¹⁹ Toto období je považováno také za dostatečně krátké, aby byly bez problémů pokryty dočasně vyšší požadavky na výpočetní výkon, bez nutnosti jeho navýšení a významné degradace kvality poskytovaných služeb, jak je popsáno v kapitole 11.3.

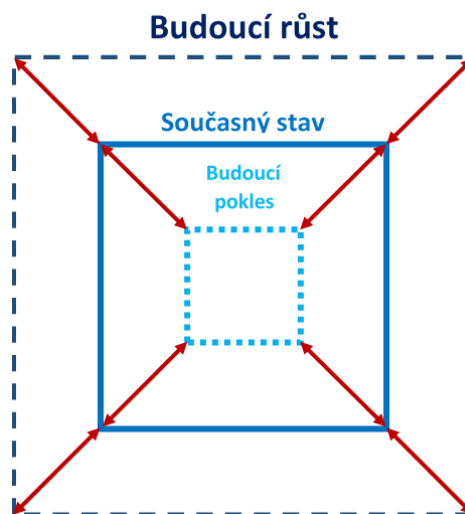
²⁰ Dle základního srovnání, uvedeného například v [47] se jedná o jednotky, které v případě této práce a většině reálných případů nehrají zásadní roli. Obvykle se pohybují na úrovni zaokrouhlovací chyby.

měřený přístup k aplikaci metody *Reálných opcí*. Kombinace hodnot je založena na váženém součtu hodnoty *prodejní* a *kupní opce*. Váhy jsou počítány jako kombinace pravděpodobnosti dosažení uzlu z kořene stromu. Pro výpočet je nutné znát cestu, kterou je třeba do daného kořene projít a s ní spojenou historii. Je aplikován princip výpočtu *opce s pamětí*, který je typický pro *exotické opce*, popsané v kapitole 6.1.9.

Se znalostí výchozích předpokladů je možné přistoupit k popisu navržené metody a jejích variant. Jako první krok návrhu je v následující kapitole 10 analyzována obecná *agilita* organizace, která je následně promítnuta do *flexibility Cloud Computingu* a *on-premise infrastruktury*.

10 Nejistoty, agilita a flexibilita v praxi

Každá organizace se v reálném světě pohybuje v prostředí, pro které je typická existence vnitřních a vnějších *nejistot* (viz kapitola 3.2). Nejistoty představují skutečnost, že to, co platí v určitý okamžik, nemusí platit do nekonečna, protože existují *rizika*. Například příchod, ale i odchod konkurence, příchod nebo odchod zákazníků, příchod nebo odchod zaměstnanců, změna používané technologie a další faktory. Čím delší budoucnost vůči aktuálnímu (současnému) stavu se předpovídá, tím větší chyba se vnáší do odhadu. Podobně jako u *opcí* ale platí pravidlo, že delší budoucnost znamená zvýšení potenciálu na úspěch, stejně jako na neúspěch. Zjednodušeně tuto existující dynamiku zachycuje Obrázek 30.

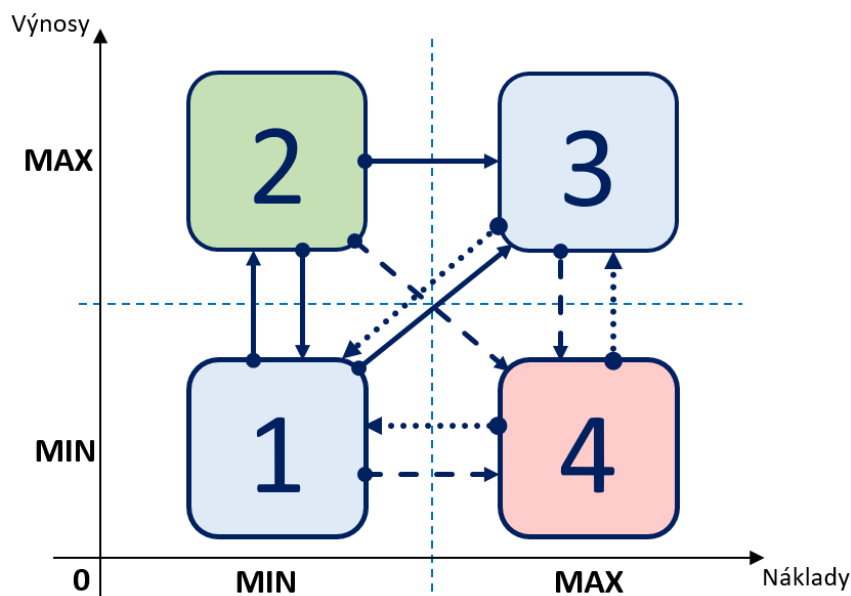


Obrázek 30. Změny požadavků trhu [zdroj: [68]].

Z obrázku plyne, že každá organizace, která chce, jak bylo zmíněno v kapitole 3.3, na trhu přežít, musí být dostatečně *agilní* a schopná reagovat jak na zvýšenou, tak i sníženou poptávku po službách a produktech. Přičemž není jasné, zda a jakým směrem se realita bude vyvíjet. Je třeba si také uvědomit, že *agilita* není zadarmo a při tvorbě odpovídajícím způsobem „agilní“ organizace je nutné zvažovat smysluplnou míru *agility*, odrážející se v nákladech, které je organizace na *agilitu* schopná vynakládat. Jak na začátku svého fungování, při návrhu a realizaci počáteční konfigurace, odpovídající aktuálnímu (současnému) stavu poznání, tak při případných budoucích změnách. Bez napojení na byznys strategii to není možné, protože ta definuje, kolik je organizace schopná do *agility* investovat a jaká výše investice je pro danou organizaci smysluplná.

10.1 Obecná agilita organizace

Z obecného hlediska reflektuje *agilita* dva typy situací, které mohou v budoucnosti vůči počátečnímu stavu nastat. První typ pokrývá schopnost reagovat na různé budoucí stavy, spojené s růstem požadavků vůči počátečnímu stavu. Stavy, které mohou v tomto případě nastat, a přechody mezi nimi popisuje Obrázek 31.



Obrázek 31. Obecná agilita organizace spojená s růstem požadavků [zdroj: vlastní].

Obrázek zachycuje rozložení různých stavů organizace vzhledem k poměru nákladů a výnosů. Náklady reprezentují výpočetní kapacitu, kterou je schopna organizace poskytnout na pokrytí požadavků určitého počtu konzumentů. Vyšší kapacita umožňuje obsloužit více konzumentů. Také ale znamená vyšší náklady na pořízení a provoz. Výnosy reprezentují počty konzumentů a definují požadavky na kapacitu. Vyšší výnosy znamenají vyšší počet konzumentů.

Pro jednoduchost a přehlednost je obrázek rozdělený do čtyř kvadrantů²¹, přičemž na ose „X“ jsou vyneseny „náklady“ a na ose „Y“ „výnosy“. Hodnoty na každé z os jsou dále rozděleny na dvě části (intervaly). První část je reprezentována hodnotou „MIN“ a znamená minimální náklady / výnosy. Kombinace hodnot MIN / MIN reprezentuje počáteční stav. V každé z hodnot je zahrnutá „určitá“ míra *agility*, reprezentovaná rezervou, která umožňuje po omezenou (krátkou) dobu pokrýt vyšší budoucí požadavky, aniž by bylo nutné provést novou investici. Provedení nové investice znamená pořízení rozšiřujícího výpočetního výkonu, který je schopen pokrýt požadavky dlouhodobě. Organizace se v tomto případě přesouvá do částí, označených hodnotou „MAX“.

Za účelem podrobnější analýzy možných budoucích stavů organizace a přechodů mezi nimi jsou jednotlivé kvadranty označeny čísly „1“ – „4“. První kvadrant vyjadřuje stav založení (počátek fungování) organizace. Náklady vycházejí ze známých požadavků s definovanou rezervou a výnosy odpovídají těmto požadavkům. Proto jsou označeny jako minimální. Druhý kvadrant odpovídá dočasnému zvýšení požadavků, které přesáhly rezervu, zahrnutou v konfiguraci prvního kvadrantu a organizace je ve stavu, kdy se rozhoduje, zda zainvestuje do rozšíření nebo počká, zda se nejedná jen o dočasné zvýšení poptávky. V případě, že se rozhodne pro investici, tak přechází do třetího kvadrantu, který reprezentuje dlouhodobé zvýšení poptávky (vyšší výnosy) a tomu odpovídající zvýšení nákladů. Pokud šlo jen o krátkodobé zvýšení poptávky, které rychle opadne, vrací se organizace do prvního kvadrantu. Přechod z prvního kvadrantu do třetího může být také přímý, bez přechodu přes druhý kvadrant. Tento přechod je obvykle založený na dobrém

²¹ Pro účely této disertační práce nejsou důležité absolutní hodnoty, ale obecné rozdělení, umožňující popsat klíčové principy. Proto bylo zvoleno zjednodušení jen na čtyři kvadranty. Pro různé reálné situace mohou být hranice mezi kvadranty nastaveny různě, stejně tak je možné zvolit i vyšší počet kvadrantů.

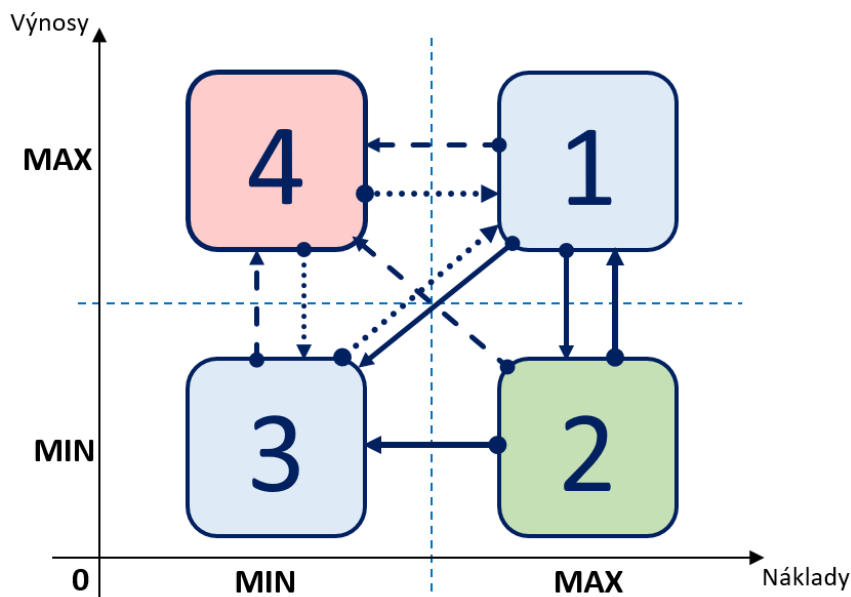
propojení *byznys strategie* s ostatními strategiemi a jedná se o plánované navýšení kapacity organizace, obvykle spojené s pozitivním vývojem okolního světa (trhu). Všechny tyto popsané přechody jsou z pohledu organizace a jejího vývoje „pozitivní“, protože obsahují minimální ztráty a indikují zvýšenou poptávku po produktech / službách organizace. Pro odlišení od ostatních přechodů jsou znázorněny plnými šipkami.

Přechody do čtvrtého kvadrantu jsou z pohledu organizace naopak „negativní“, a pro odlišení jsou vyznačeny pomocí čárkovaných šipek. Čtvrtý kvadrant reprezentuje organizaci s předimenzovanou infrastrukturou, která díky nevyužití kapacitě neefektivně pokrývá nízké požadavky zákazníků. Ty by šlo pokrýt stavem, odpovídajícím z pohledu nákladů prvnímu kvadrantu. Do čtvrtého kvadrantu lze přejít z libovolného z ostatních. Přechod z prvního kvadrantu reprezentuje špatné propojení strategií a předčasnou nebo zbytečnou dodatečnou investici do rozšíření kapacit. Přechod z druhého kvadrantu odpovídá přechodu z kvadrantu prvního, jen s tím rozdílem, že došlo k chybnému vnímání dočasného zvýšení krátkodobé poptávky. Poslední přechod z třetího kvadrantu znamená, že dodatečná investice byla naplánována správně, ale v okolí došlo buď ke krátkodobé, nebo dlouhodobé změně, která může znamenat dočasný nebo trvalý konec zájmu o organizaci a její výstupy.

Dobře navržená a implementovaná *agilita* nespočívá jen ve schopnosti organizace efektivně zareagovat na zvýšenou budoucí poptávku (přechody označené plnou šipkou), ale také schopnosti provést korekci v případě, že dojde k neočekávanému snížení poptávky po předchozím navýšení kapacity nebo bylo provedeno chybné rozhodnutí (čárkovanou šipkou označené přechody do čtvrtého kvadrantu). Jsou tedy pokryty i zpětné přechody ze čtvrtého kvadrantu, označené tečkovanou šipkou. Přechod ze čtvrtého do prvního kvadrantu je typickou korekcí chybného plánování, kdy byl přeceněn krátkodobý růst poptávky, nebo investice byla naplánována na dřívější dobu, než byla zapotřebí. Zajímavý je zpětný přechod z kvadrantu čtyři do kvadrantu tři, protože pokrývá dvě různé reálné situace. Buď znamená, že se organizace po krátkodobém snížení požadavků vrací zpět na vyšší úroveň do třetího kvadrantu nebo realita korigovala chybu v plánování (přechod z prvního/druhého do čtvrtého kvadrantu) a po určité době neefektivního fungování organizace jsou se zpožděním naplněny předpoklady o nutnosti provedení investice na základě očekávaného nárůstu požadavků.

Za korekci, i když jiného typu, lze považovat také přechod ze třetího do prvního kvadrantu. Tento přechod obvykle znamená, například podle modelu životního cyklu organizace Dannyho Millera a Petera H. Friesena, že je organizace v krizi nebo v posledním období svého života [112] a je vhodné, aby buď řízeně (plánovaně) a efektivně uzavřela svoji činnost nebo snížila náklady na provoz tak, aby odpovídaly sníženým potřebám. Zpětné přechody z kvadrantů čtyři a tři do kvadrantu dva nejsou zachyceny, protože kvadrant dva zachycuje dočasný stav a návrat do něj nedává v smysl. V praxi i na obrázku je nahrazený přímým přechodem do prvního kvadrantu.

Obdobným způsobem, jak zachycuje Obrázek 32, lze popsat také druhý typ obecné *agility*, spojený s budoucím poklesem požadavků vůči počátečnímu stavu. První kvadrant opět označuje počáteční (současný) stav organizace, druhý dočasný pokles poptávky, třetí plánované ponížení kapacity (například odprodej přebytečných kapacit) a čtvrtý, chybový stav, kdy se rozhodnutí o ponížení kapacit a snížení nákladů na ně udělalo nekorektně (v realitě obvykle předčasně). Významy vyznačených přechodů a odpovídajících šipek jsou obdobné jako v případě povyšování výkonu, jak ukazuje Obrázek 31.



Obrázek 32. Obecná agilita organizace spojená s poklesem požadavků [zdroj: vlastní].

Přechody mezi prvním a druhým kvadrantem znamenají, že došlo ke krátkodobému snížení požadavků a po krátké době se organizace vrací zpět do výchozího stavu. Dlouhodobé nebo trvalé snížení požadavků reprezentuje přechod z druhého to třetího kvadrantu. Přechod je provázen snížením nákladů, nutných pro uspokojení požadavků konzumentů. Do třetího kvadrantu lze přejít také přímo z prvního kvadrantu, kdy organizace, na základě definované byznys strategie, plánovaně sníží náklady, spojené s nutností uspokojovat nižší požadavky konzumentů. Chybné přechody reprezentují přechody z kvadrantu jedna a dva do kvadrantu čtyři, reprezentujícího nevhodné snížení nákladů na provoz organizace, způsobené chybnou strategií nebo přeceněním dočasného poklesu požadavků. Přechod ze třetího kvadrantu do čtvrtého reprezentuje krátkodobé zvýšení poptávky při nižší kapacitě výpočetního výkonu organizace. Tato změna může být dočasná, provázená zpětným návratem do třetího kvadrantu nebo dlouhodobá, spojená s návratem do prvního kvadrantu. Plánovaně se lze také vrátit ze třetího do prvního kvadrantu. Opět, stejně jako v případě pokrytí růstu požadavků, nejsou popsány přechody z kvadrantu tři a čtyři do kvadrantu dva, protože nedávají praktický smysl.

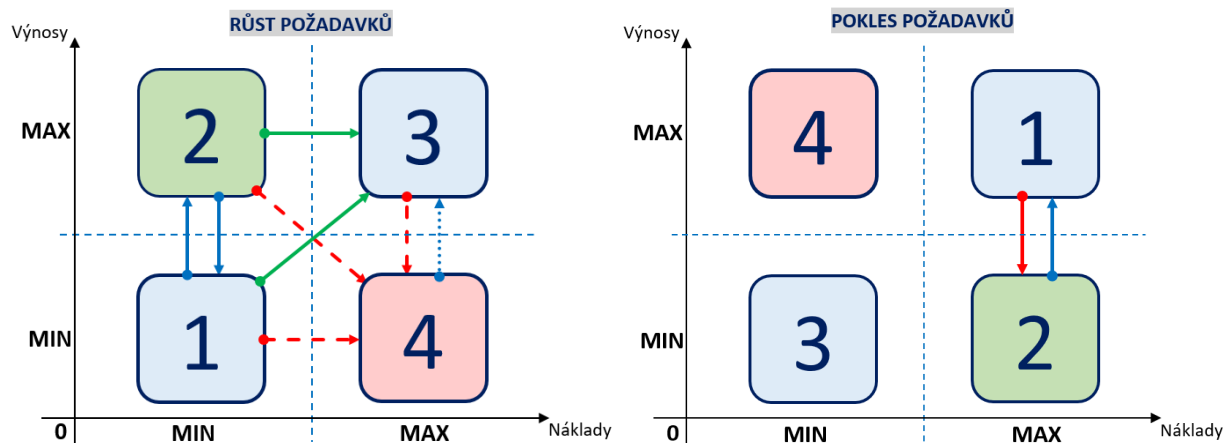
V následujících kapitolách je, na základě obecné *agility* a pro účely návrhu nové metody hodnocení *flexibility*, analyzována a porovnána *agilita on-premise infrastruktury* a *Cloud Computingu*. Vzhledem k tomu, že v definici *Cloud Computingu* je *agilita* nazývána *flexibilitou*, bude v další analýze používán především tento pojem.

10.2 Flexibilita on-premise infrastruktury

On-premise infrastruktura je sice historicky starším typem infrastruktury, ale jak bylo zmíněno v kapitole 2.4, *Cloud Computingu* se jí, díky svým vlastnostem, daří v některých oblastech úspěšně nahrazovat. Jedním z důvodů je menší schopnost *on-premise infrastruktury* pokrýt obecnou *agilitu* organizace, jak ukazuje Obrázek 33.

Pro zjednodušení obsahuje obrázek jak schopnost flexibilního navyšování (levá polovina) tak snižování (pravá polovina) požadavků na kapacitu vzhledem k počátečnímu stavu organizace. Aby bylo možné při analýze poukázat na finanční stránku, spojenou s *flexibilitou*, jsou šipky, reprezentující přechody mezi kvadranty, označeny následujícími barvami:

- **Zelená barva** – navyšování požadavků, spojených s nutností provést novou investici do rozšíření (navýšení) aktuální kapacity.
- **Modrá barva** – navyšování nebo ponižování požadavků bez nutnosti provedení investice, protože již dříve pořízená kapacita dostatečně pokrývá požadavky. V případě nepokrytí je doba, kdy nejsou požadavky pokryté, dočasná a krátká.
- **Červená barva** – neefektivní využívání kapacity organizace, znamenající, že pro pokrytí požadavků by stačila nižší kapacita, než kterou organizace aktuálně disponuje a náklady na infrastrukturu jsou zbytečně vysoké.



Obrázek 33. Flexibilita on-premise infrastruktury [zdroj: vlastní].

Toto barevné značení bude, s občasnými drobnými úpravami, použito i v dalších částech této práce. Pokud se porovná Obrázek 33 (levá část) a Obrázek 31, je na první pohled zřejmé, že chybí pokrytí přechodů z kvadrantů tři a čtyři do kvadrantu jedna. Chybějící přechody odrážejí předpoklady z kapitoly 9, že jakmile se jednou zainvestuje do zvýšení kapacity a zvýší se náklady na provoz, nelze tuto kapacitu a náklady zpětně snížit. Jakmile se organizace dostane do třetího kvadrantu, může v tomto kvadrantu zůstat, nebo se přesunout jen do kvadrantu čtvrtého. Z něj se lze vrátit jen zpět, do kvadrantu třetího. Modré šipky mezi kvadranty jedna a dvě reprezentují situaci, kdy dočasné zvýšení poptávky organizace pokrývá prostředky, které má již k dispozici a neprovádí žádnou novou investici. Podobně modrá přechodová šipka z kvadrantu čtyři do kvadrantu tři znamená, že se poptávka po krátkodobém snížení vrátila na úroveň, odpovídající vyšší kapacitě infrastruktury. Jelikož tuto infrastrukturu již máme, není nutné do rozšíření nic investovat. Popřípadě v rámci tohoto přechodu dochází ke korekci chybného plánování, spojeného s předčasnou investicí do rozšíření, reprezentovaného přechodem z kvadrantu jedna. Zbylé tři červené přechody reprezentují situaci, kdy sice v rámci *on-premise infrastruktury* pokrýváme požadavky na ni kladené, ale neefektivně. Buď se zbytečně navýšila kapacita při přechodech z prvního a druhého kvadrantu do čtvrtého nebo došlo k poklesu požadavků z kvadrantu tři. Ve všech případech to znamená, že pořízená infrastruktura je předdimenzovaná a náklady na provoz jsou zbytečně vysoké.

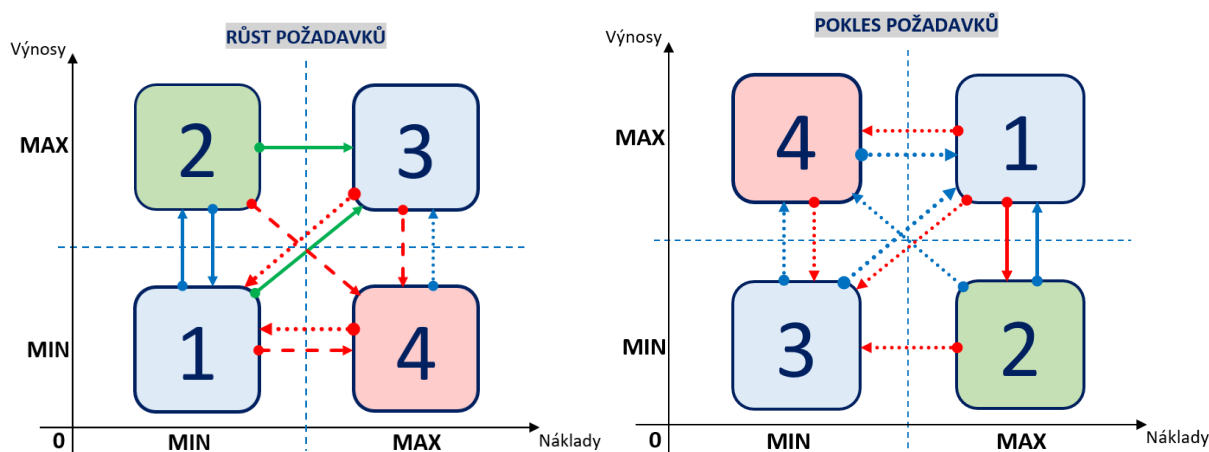
Zajímavější je porovnání *flexibility* s ohledem na klesající požadavky vůči současnému stavu, které reprezentuje Obrázek 32 a Obrázek 33 (pravá část). Tím, že v rámci *on-premise infrastruktury* nelze jednou pořízenou kapacitu snížit a odpovídajícím způsobem snížit náklady na její provoz, je možný jen přechod z kvadrantu jedna do kvadrantu dva, kdy dochází ke zbytečnému plýtvání nákladů a zpětný přechod z kvadrantu dva

do kvadrantu jedna, kdy se velikost požadavků vrátila zpět na úroveň, odpovídající již pořízené kapacitě infrastruktury. Druhý kvadrant může být v případě *on-premise infrastruktury* také konečným, především v posledním období života organizace.

Provedená analýza potvrzuje, že *flexibilita on-premise infrastruktury* je omezená a nepokrývá plně všechny požadavky na obecnou *agilitu* organizace. Finanční pohled navíc ukazuje, že v případech snížené poptávky konzumentů dochází k plýtvání prostředky organizace, protože jsou vynakládány zbytečné náklady na nevyužitou výpočetní kapacitu. *Cloud Computing*, jak popisuje následující kapitola, zlepšuje jak pokrytí obecné *agility*, tak finanční stránku s ní spojenou.

10.3 Flexibilita Cloud Computingu

Pokrytí obecné *agility* organizace *Cloud Computingem* a odlišnosti od pokrytí *on-premise infrastrukturou* ukazuje Obrázek 34.



Obrázek 34. Flexibilita Cloud Computingu [zdroj: vlastní].

V levé části je zachycena *flexibilita*, spojená s nárůstem požadavků a v pravé části *flexibilita*, spojená s poklesem požadavků. Již na první pohled je vidět, že oproti využití *on-premise infrastruktury* jsou pokryty všechny přechody obecné *agility*. Z finančního hlediska je výraznou výhodou *Cloud Computingu* schopnost při snížení požadavků konzumentů snížit kapacitu, nutnou na jejich pokrytí a s tím spojené náklady na provoz.

Pro srovnání nákladů *Cloud Computingu* vůči *on-premise infrastruktuře* je opět použito barevné označení přechodů, které vychází ze značení pro *on-premise infrastrukturu* a zdůrazňuje změny, které vůči ní *Cloud Computing* přináší:

- **Zelená barva** – navýšování požadavků, znamenající nutnost provést investici (navýšení nákladů) do rozšíření (navýšení) stávající kapacity bez ohledu na způsob realizace infrastruktury.
- **Modrá barva** – u *on-premise infrastruktury* již dříve pořízená kapacita dostatečně pokrývá požadavky a není nutné ji navýšovat. V případě *Cloud Computingu* snižujeme při každém poklesu kapacitu a náklady, při každém nárůstu kapacitu i poplatky navýšujeme. U *Cloud Computingu* je navíc možné, v případě, že to dává smysl a je to prakticky realizovatelné, reagovat snížením kapacity a nákladů i na krátkou dočasnou dobu (pokrytí druhého kvadrantu).

- **Červená barva** – neefektivní využívání kapacity *on-premise infrastruktury* organizace, znamenající, že pro pokrytí požadavků by stačila nižší kapacita a náklady jsou zbytečně vysoké. V případě *Cloud Computingu* lze kapacitu a s ní spojené náklady snížit.

Pokud se nyní porovná Obrázek 34 (levá část) a Obrázek 33 (levá část), je možné dojít ke zjištění, že *Cloud Computing* doplnil chybějící zpětné přechody z kvadrantů tři a čtyři do kvadrantu jedna. Použitá červená barva přechodových tečkovaných šipek znamená, že použitím *Cloud Computingu* je možné nejen snižovat kapacitu, ale také náklady.

Markantnější je změna pokrytí při poklesu požadavků, zobrazená v pravých částech obou obrázků. *Cloud Computing* pokrývá všechny přechody. Tečkované šipky opět zdůrazňují, že doplněné přechody jsou korekcí chybějících přechodů a červená barva potvrzuje skutečnost, že využitím *Cloud Computingu* je možné přechody nejen realizovat, ale také snížit náklady na provoz. Modré tečkované šipky naznačují, že není nutné do existující *on-premise infrastruktury* investovat, protože kapacita je již pokrytá předchozími investicemi a nedochází ke ztrátám z neefektivního využívání kapacity. Polemiku mohou vzbudit modré přechodové šipky z kvadrantů dva a tři do kvadrantu čtyři. Důvodem použití modré a ne červené barvy je skutečnost, že je zachycena schopnost *on-premise infrastruktury* pokrýt požadavky konzumentů. A protože výchozím stavem je v tomto případě kvadrant jedna, kde je dostatečná infrastruktura již pořízena, znamenají uvedené přechody efektivní využití toho, co je již pořízeno. Správně by tedy měly tyto přechody v případě *on-premise infrastruktury* směřovat do kvadrantu jedna, ale protože se porovnává s *Cloud Computingem*, který umožňuje přechody do kvadrantu čtyři realizovat, jsou zakresleny stejně, jako v případě obecné *agility*. Zdůrazňuje se tím skutečnost, že *Cloud Computing* je schopen plně pokrýt všechny požadavky obecné *agility*. Navíc je, díky své *flexibilitě*, schopen realizovat i chybějící přechody do druhého kvadrantu. S ohledem na omezení, definovaná v kapitole 8 není tato možnost v práci dále rozebírána.

10.4 Vyhodnocení flexibility technologií

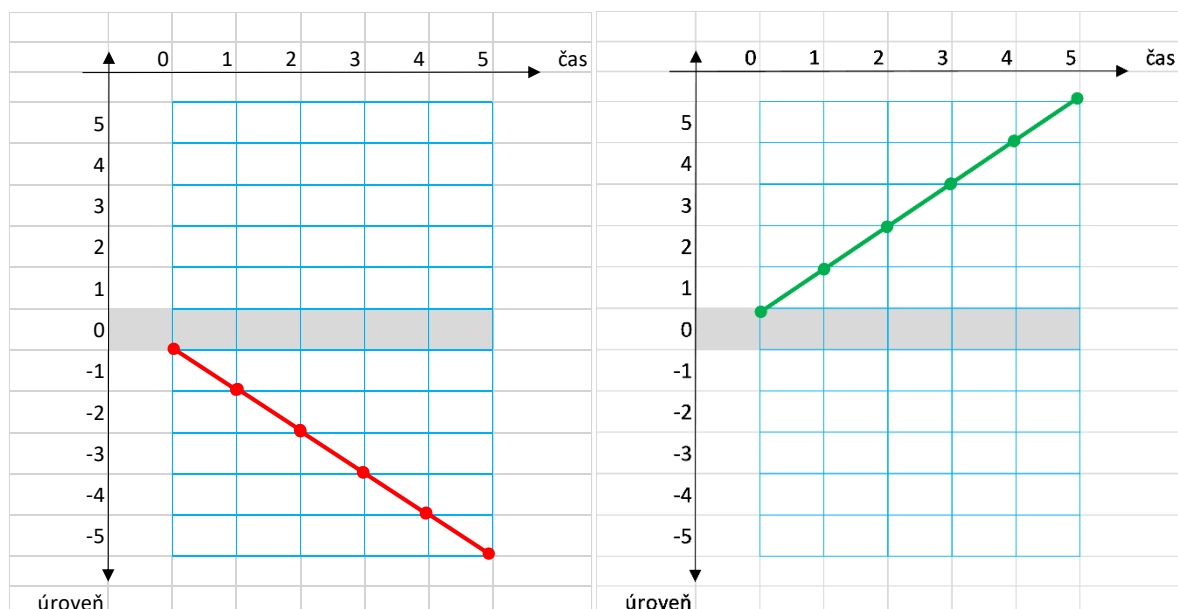
Jak *on-premise infrastruktura*, tak *Cloud Computing* v sobě zahrnují určitou míru *flexibility*, která umožňuje organizaci být *agilní*. Analýza, provedená v této kapitole, ukázala, že možnosti *Cloud Computingu* jsou v tomto směru větší. Otázka, kterou se zabývá další část této disertační práce, je jak *flexibilitu* finančně ohodnotit a porovnat různé způsoby realizace *IT infrastruktury*. Způsob, jakým se k finančnímu hodnocení přistupuje, vychází z barevného zvýraznění přechodů mezi kvadranty. V případě zelených a modrých přechodů je třeba hodnotit rozdíly v nákladech na pořízený / provozovaný výpočetní výkon, u červených přechodů zase náklady, které je organizace, díky použití *Cloud Computingu*, schopna ušetřit.

11 Návrh metody finančního hodnocení flexibility Cloud Computingu

Metoda, která je v této disertační práci navržena a ověřena, je založena na *binomickém modelu* a kombinaci *prodejních a kupních opcí*, hodnotících možné ponížení / navýšení výpočetní kapacity, a s tím spojené náklady. Kapitola popisuje, jakým způsobem metoda funguje, jak se spočítá výsledná hodnota *opce* a jak lze tuto výslednou hodnotu interpretovat.

11.1 Reprezentace flexibility pomocí binomického stromu

Prvním krokem, který bylo nutné na začátku návrhu metody provést, byla transformace *flexibility* a finančního hodnocení, popsaného v předchozí kapitole, do *binomického stromu*. Ten, jak bylo představeno v kapitole 6.1.8, s využitím parametru *volatility* reprezentuje možný vývoj budoucích požadavků konzumentů směrem nahoru (růst) nebo dolů (pokles) v předem definovaném čase. Průchod *binomickým stromem* principiálně odpovídá přechodům mezi kvadranty z předchozí kapitoly. Nárůst požadavků v čase znamená přechod z aktuálního uzlu (stavu) do uzlu ve vyšší úrovni, pokles naopak přechod do uzlu v nižší úrovni. Vyšší úroveň tedy reprezentuje vyšší kapacitu a s ní spojené vyšší náklady, nižší úroveň nižší kapacitu a náklady. Výchozím uzlem je stav v úrovni a čase nula. Odpovídá prvotní konfiguraci na začátku fungování organizace. Počet uzlů závisí na čase, po který chceme chování organizace sledovat a počtu období, na které je tento čas rozdělený. Metoda předpokládá, že do každého uzlu stromu je možné se dostat minimálně jedním způsobem (cestou). V souvislosti s *flexibilitou* mohou při průchodu stromem nastat tři typické situace. První, popisující dva nejjednodušší případy, popisuje Obrázek 35.

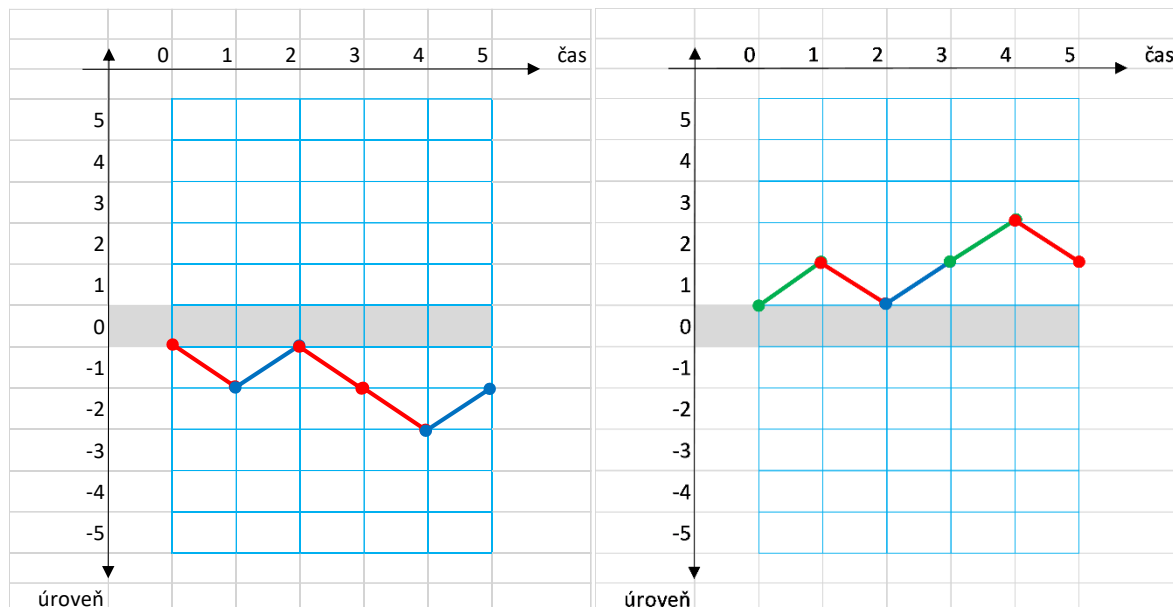


Obrázek 35. Pokles / nárůst požadavků [zdroj: vlastní].

Jsou na něm zachyceny případy, kdy po celou dobu životnosti projektu dochází jen k poklesu (levá část) nebo nárůstu (pravá část) požadavků. Při zachování významu barevného značení čar přechodů mezi uzly, odpovídajícímu kapitole 10.3, je možné průběžný pokles požadavků charakterizovat jako neefektivní využívání na počátku pořízené *on-*

premise infrastruktury, protože u ní nelze, na rozdíl od *Cloud Computingu*, kapacitu snižovat. Průběžný nárůst požadavků představuje nutnost rozšiřování kapacity, aby byly pokryty vyšší požadavky zákazníků. Rozšíření je nutné provést pro oba způsoby realizace infrastruktury.

Komplikovanější situace, spojené s kombinací poklesu a nárůstu požadavků ve stejné polovině *binomického stromu*, ukazuje Obrázek 36.

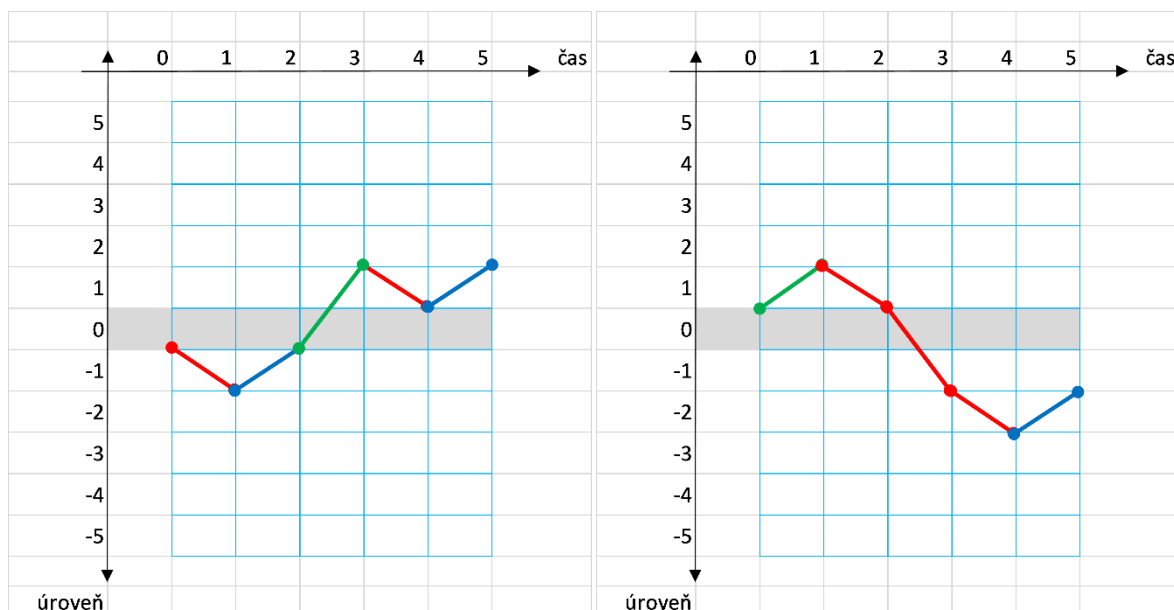


Obrázek 36. Změny požadavků v rámci stejné oblasti binomického stromu [zdroj: vlastní].

V obou případech je vidět, že požadavky různým způsobem rostou a klesají, ale nikdy nepřekročí počáteční úroveň nula. Podobně jako v předchozím případě to znamená, že se buď trvale pohybujeme v oblasti nižšího (levá část) nebo vyššího (pravá část) zájmu, než bylo na počátku předpokládáno. Jednotlivé přechody podle barevného označení znamenají:

- **Červené přechody** - neefektivní využívání *on-premise infrastruktury* při poklesu požadavků. Při použití *Cloud Computingu* jsou kapacita a náklady odpovídajícím způsobem poníženy.
- **Zelené přechody** – zvýšení požadavků na výpočetní výkon s nutností dodatečné investice do *on-premise infrastruktury*, protože vyšší úroveň, do které se přechází, dosud nebyla dosažena. V případě *Cloud Computingu* se předpokládá navýšení kapacity výpočetního výkonu vzhledem k předchozímu stavu v nižší úrovni. V obou případech se zvyšují náklady na provoz.
- **Modré přechody** - zvýšení požadavků na výpočetní výkon bez nutnosti dodatečné investice do *on-premise infrastruktury*, protože ta již proběhla někdy dříve (úroveň již byly minimálně jednou dosažena). V případě *Cloud Computingu* je nutné kapacitu a odpovídající náklady, opět s ohledem na předchozí stav v nižší úrovni, navýšit.

Obdobné situace mohou nastat i ve třetím případě, kdy v rámci stromu dochází k pohybu přes nultou úroveň, jak naznačuje Obrázek 37.



Obrázek 37. Změny požadavků přes různé oblasti binomického stromu [zdroj: vlastní].

Význam přechodů a barevného značení je stejný, jako v případě, kdy zůstáváme ve stejné části stromu. Rozdíl je v obecném popisu chování. Levá část popisuje situaci, kdy byla poptávka po určitou dobu nižší, a po určité době došlo k navýšení nad původní očekávání. Pravá část popisuje naopak situaci, kdy poptávka po určitou dobu překračovala prvotní očekávání a následně poklesla pod očekávání. Z praktického pohledu může levá část reprezentovat situaci, kdy organizace s produktem / službou přišla na trh dříve, než to bylo smysluplné nebo byl podceněn marketing. Pravá část zase prvotní nadšení z nového produktu / služby, následovaného deziluzí a odchodem konzumentů.

Celkový počet existujících kombinací růstu a poklesu (cest průchodu stromem) závisí na velikosti stromu, daného délkou času, po který organizaci sledujeme a počtem období, na který je tento čas rozdělený. Čím delší čas a vyšší počet období se posuzuje, tím je počet cest vyšší. Finančním ohodnocením všech existujících cest a jejich kombinací lze získat finanční hodnotu *flexibility*.

11.2 Vyčíslení flexibility binomického stromu

Druhým krokem návrhu metody finančního hodnocení *flexibility* bylo vyčíslení všech možných průchodů *binomickým stromem* a jejich kombinace. Pro tyto účely byly upřesněny výchozí vstupní předpoklady, popsány v kapitole 9, následujícím způsobem:

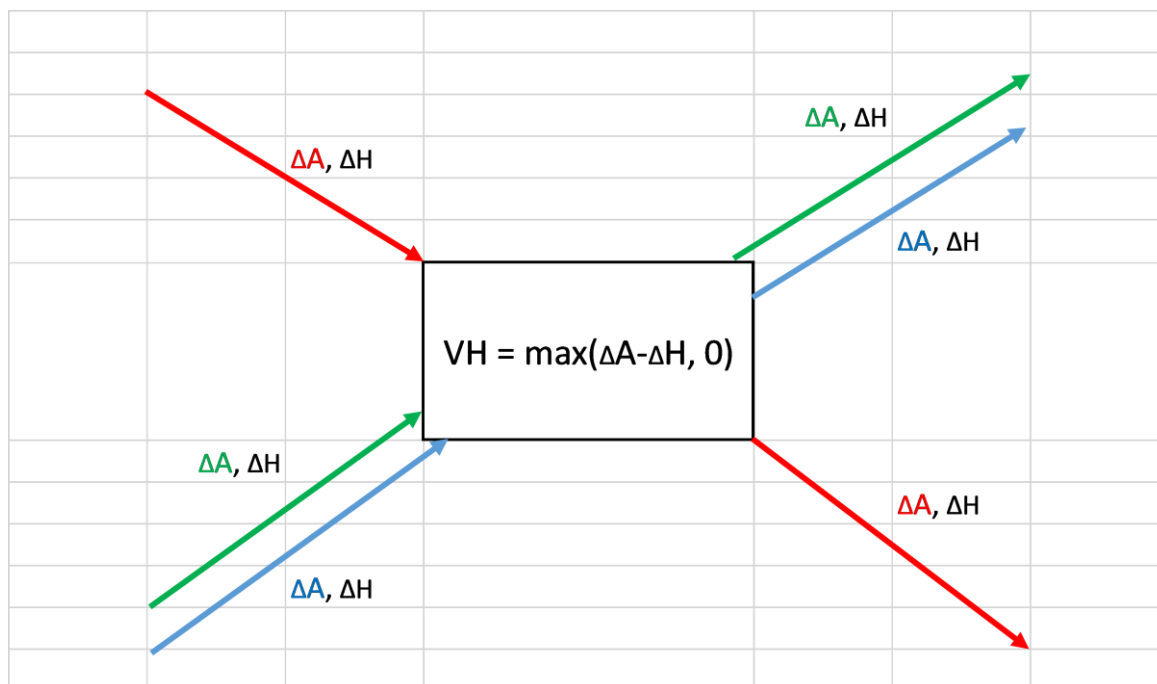
1. Současná hodnota budoucích toků S je stejná jak pro použití *Cloud Computingu*, tak i *on-premise infrastruktury*.
2. Doba životnosti projektu T a počet období n , na které je tato doba rozdělená, jsou stejné jak při použití *Cloud Computingu*, tak i *on-premise infrastruktury*.

3. Prvotní investice do *on-premise infrastruktury* a platba za využívání *Cloud Computingu* v nulté úrovni *binomického stromu* reprezentují stejný, respektive vzájemně si odpovídající, výpočetní výkon. Stejně tak si odpovídá i výpočetní výkon, pořízený při navýšení požadavků.
4. Výpočetní kapacita pro každou úroveň *binomického stromu* v sobě zahrnuje rezervu pro navýšení / ponížení požadavků na kapacitu, aby nebylo nutné ji měnit při každé změně, ale až při dosažení určité úrovně požadavků.
5. Vždy je pořizována taková kapacita, jejíž poměr cena/výkon a míra plýtvání nákladů za nevyužitý výpočetní výkon jsou minimální.

První dva předpoklady definují, že výpočet je prováděn za stejných vstupních podmínek pro oba způsoby realizace infrastruktury. Předpoklady číslo tři a čtyři určují, že při výběru konfigurace výpočetního výkonu se v obou způsobech vždy vybírají takové konfigurace, které poskytují obdobný výkon, aby se srovnávalo srovnatelné a výpočty nebyly zkreslené. Poslední, pátý předpoklad, vede k minimalizaci nákladů na pořízení a provoz výpočetního výkonu, který pokrývá odpovídající požadavky konzumentů a umožňuje budoucí rozšíření. Předpoklady tři až pět jsou podrobeny, s ohledem na možné modifikace metody, další diskusi v kapitole 12, věnované ověření navržené metody.

11.2.1 Přřazení hodnot přechodům binomického stromu

V kapitole 11.1 byly popsány různé průchody (cesty) *binomickým stromem* a barevně naznačeno, jakým způsobem *flexibilita ovlivňuje* výši nákladů na provoz u *Cloud Computingu* a *on-premise infrastruktury*. Finanční hodnocení jednotlivých cest vychází z vnitřních hodnot uzlů, přítomných na konkrétní cestě a udávajících rozdíl v nákladech vůči předchozí úrovni. Pro výpočet vnitřní hodnoty je, jak ukazuje Obrázek 38, důležitá pozice uzlu v *binomickém stromu* a způsob jeho dosažení.



Obrázek 38. Vnitřní hodnota uzlu binomického stromu [zdroj: vlastní].

Konkrétně je ukázán výpočet vnitřní hodnoty uzlu, vyjadřující o kolik je levnější (dražší) změna požadavků na kapacitu při využití *Cloud Computingu* vůči použití *on-premise infrastruktury*. Tento způsob porovnání nákladů je základem navrhované metody. Jednotlivé parametry vyjadřují následující hodnoty:

- ΔA – změna výše vynakládaných nákladů *on-premise infrastruktury*, způsobená snížením požadavků na výpočetní kapacitu, reprezentující finanční ztrátu, vycházející z neefektivně využití výpočetní kapacity. Ať již pořízené na začátku fungování organizace nebo později přikoupené. Není důležité, zda byla daná nižší úroveň při průchodu stromem již navštívena.
- ΔA – změna výše vynakládaných nákladů *on-premise infrastruktury*, způsobená zvýšením požadavků na výpočetní kapacitu, kterou ale není nutné nově navyšovat (dokupovat), protože byla pořízena již dříve. Dané vyšší úrovně bylo v minulosti již minimálně jednou dosaženo a náklady opět plně odpovídají požadavkům konzumentů.
- ΔA – změna výše vynakládaných nákladů *on-premise infrastruktury*, způsobená zvýšením požadavků na výpočetní kapacitu, kterou je nutné navýšit (dokoupit), protože dosud pořízená kapacita již není dlouhodobě schopna požadavky uspokojovat. Na novou, vyšší úroveň, se dostáváme poprvé a vyšší náklady odpovídají vyšším požadavkům konzumentů.
- ΔH – změna výše vynakládaných nákladů *Cloud Computingu*, způsobená libovolnou změnou požadavků na výpočetní kapacitu, doprovázená snížením nebo zvýšením nákladů a odpovídající úrovní uzlu, do kterého se přechází. Při příchodu z uzlu z vyšší úrovně se výpočetní kapacita a náklady snižují, při příchodu z nižší úrovně naopak zvyšují.
- VH – vnitřní hodnota uzlu, reprezentující ušetřené náklady při změně požadavků vůči předchozímu uzlu stromu a použití *Cloud Computingu*. V případě, že jsou náklady na *Cloud Computing* vyšší než na *on-premise infrastrukturu*, je vnitřní hodnota uzlu rovna nule. Používá se stejný princip, jako u výpočtu vnitřní hodnoty *opce* v konkrétním uzlu *binomického stromu*.

Pokud by se řešila obrácená varianta, tedy ušetřené náklady při změně požadavků na kapacitu při využití *on-premise infrastruktury*, jen by se prohodily hodnoty ΔH a ΔA ve výpočtu vnitřní hodnoty uzlu VH . Dále bude popisována jen varianta výhodnosti *Cloud Computingu*, která je podle 2.5 v praxi pravděpodobnější. Nicméně platí, že všechny následující úvahy lze použít i pro variantu obrácenou.

Do každého z uzlů lze dojít minimálně jedním způsobem. Buď z uzlu z předchozí vyšší (levá horní červená šipka) nebo nižší (zelená a modrá levá dolní šipka) úrovně. Stejně tak lze uzel, mimo poslední úroveň, minimálně jedním způsobem opustit. Buď do následujícího uzlu ve vyšší (zelená a modrá pravá horní šipka) nebo nižší (pravá dolní červená šipka) úrovni. Z uzlů v poslední úrovni se nikam nepřechází, protože jsou koncové. Pro výpočet vnitřní hodnoty uzlu jsou důležité jak vstupní, tak výstupní přechody. Vstupní přechody se použijí při dopředném průchodu stromem a stanovení vnitřní hodnoty uzlu. Pomocí výstupních přechodů se provede zpětný průchod stromem při výpočtu hodnoty *americké opce*, reprezentující výslednou finanční hodnotu *flexibility*.

Nejjednodušší je výpočet pro přechody v krajních uzlech (viz Obrázek 35), protože do uzlu se vstupuje právě z jednoho předchozího uzlu. V okamžiku, kdy lze do uzlu

vstoupit ze dvou předchozích uzlů, je výpočet komplikovanější, protože je nutné stanovit váhu jednotlivých vstupů. Dříve, než bude představený způsob přiřazení vah a kombinace více vstupů, je třeba upřesnit význam hodnot $\Delta\mathbf{A}$ a $\Delta\mathbf{H}$.

11.2.2 Platby za výpočetní výkon, anuita

Hodnoty $\Delta\mathbf{A}$ a $\Delta\mathbf{H}$ reprezentují změny v nákladech za pořízení a provoz *on-premise infrastruktury* a *Cloud Computingu*. Nejedná se tedy o aktuální výši hodnoty nákladů, ale její změnu vůči předchozímu období (stavu), reflektující snížení / navýšení výpočetní kapacity. Vyčíslení hodnoty $\Delta\mathbf{H}$ pro *Cloud Computing* je jednoduché, protože je možné výpočetní výkon, a s ním související náklady, pro každé sledované období vůči předchozímu libovolně navýšit / snížit. Za těchto podmínek pro výpočet hodnoty $\Delta\mathbf{H}$ platí vztah (27).

$$\Delta\mathbf{H} = \mathbf{H}_t - \mathbf{H}_{t-1} \quad (27)$$

Výsledná hodnota $\Delta\mathbf{H}$ je rovna rozdílu hodnot nákladů \mathbf{H}_t pro aktuální a \mathbf{H}_{t-1} pro předchozí období. Obdobným způsobem lze vyjádřit i hodnotu $\Delta\mathbf{A}$. Nicméně, předtím, než se k výpočtu hodnoty $\Delta\mathbf{A}$ přistoupí, je nutné, z důvodů jiného významu nákladů a způsobu jejich vynakládání u *on-premise infrastruktury*, správným způsobem stanovit hodnotu \mathbf{A}_t .

U *Cloud Computingu* se vynakládají jen provozní (OPEX) náklady, jejichž výše se dle kapitoly 2.2.1 odvíjí od množství spotřebovaného výpočetního výkonu za stanovené období, obvykle jeden měsíc. Hodnota $\Delta\mathbf{H}$ v tomto případě vždy reprezentuje změnu skutečně vynaložených nákladů mezi dvěma různými obdobími. Pro *on-premise infrastrukturu* ale platí, že se jak za prvotní pořízení, tak i dodatečné navýšení výpočetního výkonu téměř vždy vynakládají vysoké jednorázové investiční náklady (CAPEX) v okamžiku pořízení a průběžně se vynakládají jen provozní náklady na nezbytnou údržbu pořízeného výkonu, které jsou vzhledem k výši prvotní investice výrazně nižší²². Zjednodušeně, bez zahrnutí hodnoty peněz, je možné výpočet celkových nákladů *on-premise infrastruktury* \mathbf{A} popsat obecným vzorcem (28).

$$\mathbf{A} = \mathbf{A}_{INV} + \sum_{i=1}^n \mathbf{A}_{OPERi} \quad (28)$$

Parametr \mathbf{A}_{INV} představuje celkovou prvotní kapitálovou investici do pořízení (navýšení) odpovídající infrastruktury a parametr \mathbf{A}_{OPERi} provozní náklady na provoz v období i , následujícím po pořízení, které jsou vynakládány na jeho konci. V případě, že by ve stejném období, jako byla provedena kapitálová investice, nebyly vynaloženy žádné provozní náklady, počítá se první hodnota provozních nákladů až pro hodnotu $i = 2$. Hodnota n představuje celkový počet období, pro která je investice hodnocena.

Aplikace výpočtu hodnoty $\Delta\mathbf{A}$ nad tímto způsobem časově rozloženými náklady způsobí, že v blízkém okolí období pořízení bude změna hodnoty nákladů $\Delta\mathbf{A}$ výrazně vyšší než v ostatních obdobích. V důsledku toho budou vnitřní hodnoty uzlů, počítané podle vzorce (33), vycházet ve většině případů nulové a dojde k potlačení dopadů *flexibility*, popsaných v kapitole 11.1. Hodnota $\Delta\mathbf{A}$ v tomto případě, na rozdíl od hodnoty $\Delta\mathbf{H}$, změnu skutečně vynaložených nákladů mezi dvěma různými obdobími nereprezentuje a není tedy možné ji s ní srovnávat. Řešením je rozprostření prvotní investice do všech časových

²² V práci se neuvažuje možnost leasingu, splátkového kalendáře ani pronájmu infrastruktury. V praxi se u většiny firem obvykle nepoužívá.

období, v rámci kterých se hodnocení provádí. Tím se zajistí, že se bude srovnávat srovnatelné a bude možné použít vzorec (33).

Pro tuto disertační práci byl pro tyto účely zvolený časový rozpad na základě výpočtu hodnoty anuity, která umožní celkovou částku nákladů rozprostřít na stejně vysoké částky do období, na která je rozdělená zkoumaná doba projektu T . Rozpad reflektuje časovou hodnotu peněz. Pro výpočet se obvykle používá vzorec (29) [46].

$$A_i = \frac{r \times A}{1 - (1 + r)^{-n}} \quad (29)$$

Hodnota A představuje celkovou jednorázovou investici na pořízení nebo rozšíření *on-premise infrastruktury*. Parametr r je známá hodnota bezrizikové úrokové sazby (viz kapitola 5.2.5). Výsledkem je hodnota A_i , v našem případě udávající měsíční anuitní výši nákladů na pořízení *on-premise infrastruktury*. Připočtením provozních nákladů na pravidelnou údržbu získáváme hodnotu, která odpovídá obdobné částce H_i za *Cloud Computing*. Nevýhodou vzorce (29) je skutečnost, že se dá použít jen pro výpočty, používající jednoduché úročení v časových intervalech (případně jeho násobcích), odpovídajících hodnotě parametru r , což je jeden rok. V této práci se ale používá období o délce jednoho měsíce a pro výpočet A_i je nutné použít modifikovaný vzorec (30) [113].

$$A_i = \frac{A \times (e^{r_e \times \Delta t} - 1)}{1 - e^{-r_e \times \Delta t \times n}} \quad (30)$$

Vzorec vychází z předpokladů, stanovených v kapitole 9. Je vidět, že je založený na spojitém úročení a využití efektivní úrokové sazby r_e . Koefficient Δt odpovídá délce jednoho období v letech (pro jeden měsíc má hodnotu $1/12$) a n počtu sledovaných období, přičemž platí rovnice (31), kde T je celková doba projektu.

$$T = \Delta t \times n \quad (31)$$

Za uvedených podmínek je možné vypočítat hodnotu ΔA , která reprezentuje změnu výše nákladů *on-premise infrastruktury* při změně požadavků a vyjadřuje ji vzorec (32). Jeho význam je stejný, jako u vzorce (27).

$$\Delta A = A_t - A_{t-1} \quad (32)$$

I když by se v tomto okamžiku dalo usoudit, že odvozené hodnoty ΔA a ΔH lze již spočítat a dosadit do vzorce (33) pro výpočet vnitřní hodnoty uzlu, je nutné se ještě jednou vrátit k průchodům stromem, popsaným a analyzovaným v kapitole 11.1.

$$VH = \max(\Delta A - \Delta H, 0) \quad (33)$$

Z nich plyne, že zatímco pro výpočet hodnoty ΔH postačuje znalost jen hodnot z aktuálního a předchozího období, bez ohledu na předchozí historii průchodu stromem, pro konečné stanovení hodnoty ΔA je výpočet komplikovanější a znalost historie průchodu stromem je vyžadována. Je to dáno rozdílností ve vnímání nákladů v pozitivních a negativních úrovních *binomického stromu*. Pro negativní úrovně obecně platí, že počáteční konfigurace, vyjádřená celkovým nákladem A , pokrývá všechny negativní úrovně a za předpokladu, že nic z této kapacity nelze prodat, na provoz vždy vynakládáme plnou částku, která odpovídá hodnotě anuity A_0 , navýšenou o případné průběžně dokoupené rozšíření výpočetního výkonu A_i . A to bez ohledu na to, v jaké negativní úrovni se nacházíme. V kladných úrovních je tomu jinak, protože počáteční konfigurace není schopna vyšší požadavky pokrýt a výpočetní kapacitu je nutné při zvýšení požadavků pokrývat také nově pořízeným, rozšiřujícím výpočetním výkonem. Ten mohl být pořízený již dříve

nebo je nutné jej pořídit v rámci aktuálního přechodu. Z této skutečnosti vyplývá, že hodnota rozdílu $\Delta A - \Delta H$ ve vzorci (33) pro vnitřní hodnoty uzlu, na základě jeho pozice v *binomickém stromu*, reprezentuje některou z následujících hodnot:

- **V pozitivních úrovních stromu a případech, kdy dochází k nárůstu požadavků** na výpočetní výkon, rozdíl ve změně absolutních nákladů *on-premise infrastruktury* a *Cloud Computingu*.
- **V pozitivních úrovních stromu a případech, kdy dochází k poklesu požadavků** na výpočetní výkon, součet veškerých nákladů na nově pořízený, ale v dané úrovni nevyužívaný výpočetní výkon *on-premise infrastruktury* a rozdílu v nákladech *Cloud Computingu* oproti předchozí úrovni.
- **V negativních úrovních, bez ohledu na pokles nebo nárůst požadavků** na výpočetní výkon, součet změny v nákladech *Cloud Computingu* a veškeré vynakládané náklady za výpočetní kapacitu *on-premise infrastruktury*, která je více nebo méně nevyužitá.

Detailně je výpočet vnitřní hodnoty uzlu rozebrán v kapitolách 11.2.3 a 11.2.4, které popisují dvě navržené varianty metody výpočtu *finanční hodnoty flexibility*. Varianty se liší zahrnutím hodnot počáteční investice A_0 a H_0 , které mohou výpočet významným způsobem ovlivnit. Nezahrnutí počáteční investice plně odpovídá výše uvedenému popisu významu rozdílu hodnot $\Delta A - \Delta H$. Výsledná vypočtená hodnota reprezentuje samotnou finanční hodnotu *flexibility*, která říká, jaké náklady je organizace při použití *Cloud Computingu* schopna v rámci vlastní *agility* ušetřit. Při finálním rozhodování o provedení investice je nutné tuto hodnotu posuzovat v kontextu celkové výše investice jako její doplněk.

Zahrnutím hodnot A_0 a H_0 do výpočtu vede ke změně rozdílu $\Delta A - \Delta H$ na $A - H$. V důsledku toho není třeba rozlišovat pozitivní a negativní úrovně. Hodnota ve všech uzlech stromu vždy reprezentuje rozdíl změny celkových nákladů *Cloud Computingu* a *on-premise infrastruktury*. Tímto způsobem se sice na jednu stranu zjednoduší výpočet, protože probíhá ve všech uzlech stejně, ale na druhou stranu se změní význam výstupní hodnoty. Ta již nereprezentuje jen samotnou *flexibilitu Cloud Computingu*, ale vyjadřuje hodnotu rozdílu celkových vynaložených nákladů na *IT infrastrukturu agilní organizace*.

V rámci disertační práce byla nejprve zpracována varianta, která hodnoty A_0 a H_0 do výpočtu nezahrnuje. Z důvodů požadavků na snížení náročnosti výpočtu vnitřní hodnoty uzlu, zpřehlednění významu vnitřní hodnoty pro různé uzly *binomického stromu* a také na základě prvních výsledků ověření byla rozpracována varianta druhá, která počáteční hodnoty do výpočtu zahrnuje. A to i přesto, že nepočítá jen samotnou hodnotu *flexibility*.

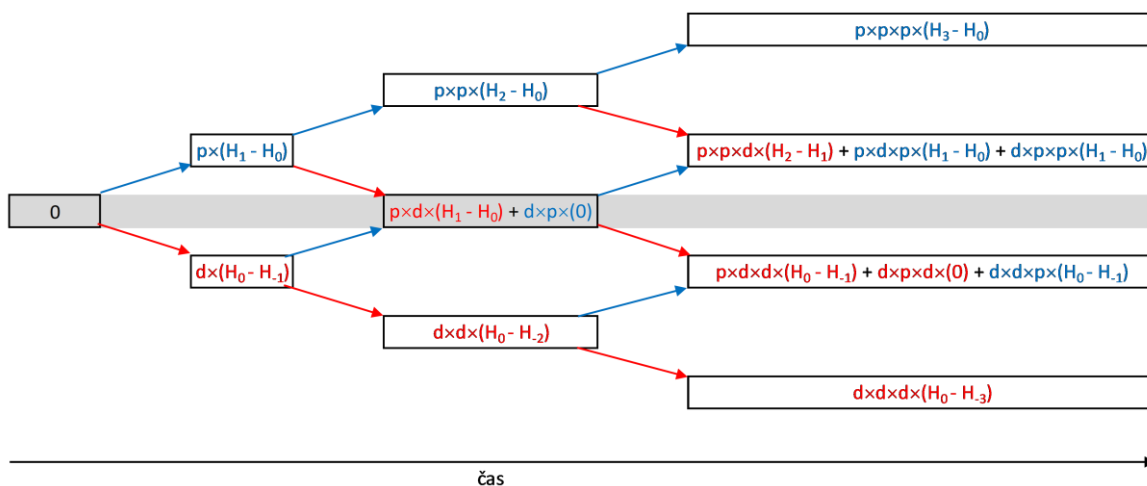
11.2.3 Varianta bez zahrnutí počáteční investice do výpočtu

Výchozím bodem výpočtu, stejně jako je tomu i u druhé varianty, je stanovení hodnot ΔH a ΔA , které se dosazují do vzorce (33). Hodnota ΔH dle kapitoly 11.2.2 reprezentuje změnu měsíčních provozních nákladů *Cloud Computingu* a její výpočet se liší podle toho, zda se uzel nachází v pozitivní nebo negativní úrovni *binomického stromu*. Pro vnitřní uzly stromu, do kterých se lze dostat dvěma různými cestami, je nutné kombinovat změnu nákladů, odpovídající přechodu z vyšší (pokles požadavků) a nižší (nárůst požadavků) úrovně. Navržená metoda v obou variantách kombinuje hodnoty pomocí váženého součtu hodnot. Jako váhy jsou použity pravděpodobnosti přechodu do uzlu p a $(1-p)$, počítané

podle vzorce (19). Pro zvýšení přehlednosti je dle vztahu (34) provedena substituce hodnoty pravděpodobnosti poklesu a v dalších částech práce se používá již jen označení d .

$$d = (1 - p) \tag{34}$$

Váhy jsou počítány za celý průchod (cestu) stromem z počátečního uzlu do uzlu, kde je prováděn výpočet vnitřní hodnoty. Důvodem je skutečnost, že dle *Pascalova trojúhelníku* lze do většiny uzlů dorazit více různými cestami, které je nutné ve výpočtu zohlednit. Proto se reflektuje celá cesta. Za těchto předpokladů a podmínek je možné vyčíslit hodnoty ΔH všech uzlů. Ukázkou výpočtu hodnot ΔH pro tři úrovně stromu demonstruje Obrázek 39.



Obrázek 39. Změny hodnot Cloud Computingu bez počátečních hodnot [zdroj: vlastní].

Hodnoty H_i znamenají celkové náklady na výpočetní kapacitu v úrovni i . Nulová úroveň je vyznačena šedým pozadím. Hodnoty nad ní představují pozitivní úrovně, hodnoty pod ní negativní. Pro zvýraznění typu změny hodnoty nákladů jsou přechody mezi uzly označeny barevně dle kapitoly 11.2.1. Modrá barva znamená zvýšení požadavků na kapacitu a tím pádem i zvýšení odpovídajících nákladů. Červená naopak znamená pokles požadavků a nákladů. Rozepsané vyčíslení vah vstupních hodnot uzlů definuje nejen hodnotu váhy, ale také popisuje cestu, kterou bylo nutné projít z počátečního uzlu do hodnoceného. Není překvapením, že váhy všech hodnot jsou stejné. Liší se jen pořadí členů p a d .

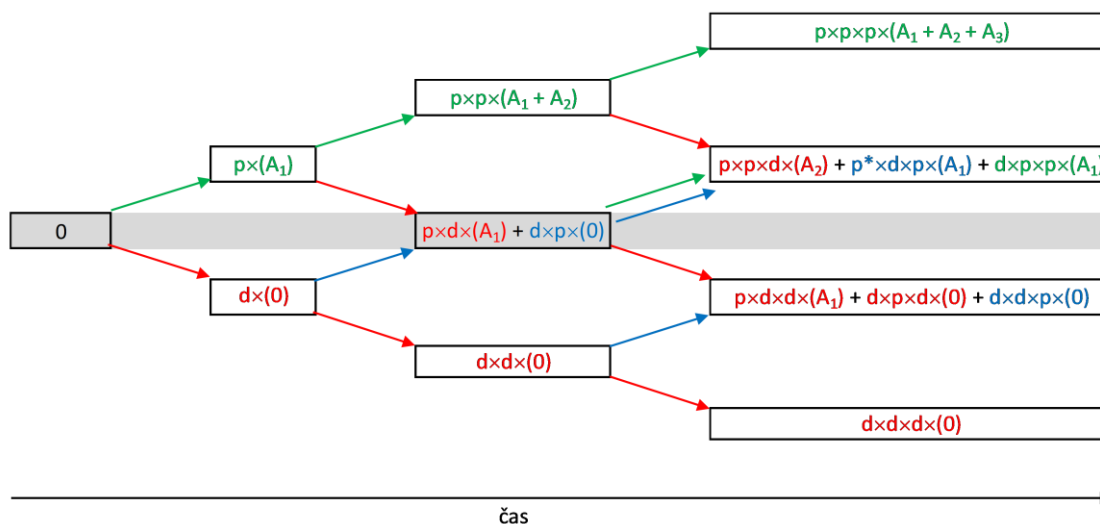
Význam hodnot, které vstupují do jednotlivých uzlů, popisuje Tabulka 6 (nulová úroveň) je považována za pozitivní.

Tabulka 6. Význam změn hodnot Cloud Computingu bez počátečních hodnot [zdroj: vlastní].

	Klesající hodnota ↓	Rostoucí hodnota ↑
Pozitivní úroveň stromu	↓ pokles nákladů vůči předchozí vyšší úrovni	↑ nárůst nákladů vůči předchozí nižší úrovni
Negativní úroveň stromu	↓ rozdíl nákladů vůči nulté úrovni	↑ rozdíl nákladů vůči nulté úrovni

V pozitivní úrovni se počítají změny vůči předchozím uzlům, které vyjadřují, o kolik se navýší / poníží náklady na provoz *Cloud Computingu* v případě změny požadavků, přesahující kapacitu počáteční konfigurace. V negativní úrovni jsou počítány změny vůči

úrovni nulté. I zde by šlo hodnoty počítat obdobně jako v pozitivní úrovni²³, ale protože *flexibilita* vychází ze změn vůči prvotní konfiguraci, jsou úspory v nákladech vyčísleny vůči úrovni nulté. Výpočet hodnoty změny nákladů *on-premise infrastruktury* ΔA probíhá, jak zachycuje pro tři úrovně stromu Obrázek 40, jiným způsobem.



Obrázek 40. Změny hodnot *on-premise* bez počátečních hodnot [zdroj: vlastní].

Hodnoty A_i znamenají anuitu nákladů na pořízení (navýšení) odpovídající kapacity v úrovni i . Pro zvýraznění typů změn v hodnotě nákladů je opět použito barevné označení přechodů. Váhy jednotlivých členů jsou počítány stejně jako u *Cloud Computingu*. Zdvojená přichoží šipka do jednoho z uzlů zdůrazňuje různé vnímání změny nákladů při navýšení požadavků. Význam všech hodnot, vstupujících do uzlu, popisuje Tabulka 7.

Stejně jako u *Cloud Computingu* se vychází ze srovnání nákladů s nulovou úrovní. Jelikož se ale předpokládá, že jednou pořízenou kapacitu již nelze v budoucnu uvolnit, a odpovídajícím způsobem snížit náklady, znamená pořízení nové kapacity, následované poklesem požadavků pod odpovídající úroveň, neefektivitu a ztrátu, spojenou s náklady za nevyužívaný výpočetní výkon. Proto je při hodnocení poklesu požadavků vždy nutné posuzovat, jestli v některém z předchozích uzlů nedošlo k rozšiřování počáteční kapacity. V případě, že ne, tak ke změně nákladů vůči nulové úrovni nedochází a hodnota změny nákladů ΔA je nulová. Pokud k rozšíření došlo, je hodnota ΔA rovna nákladům na pořízení nové výpočetní kapacity, reprezentovaných hodnotou anuity A_i .

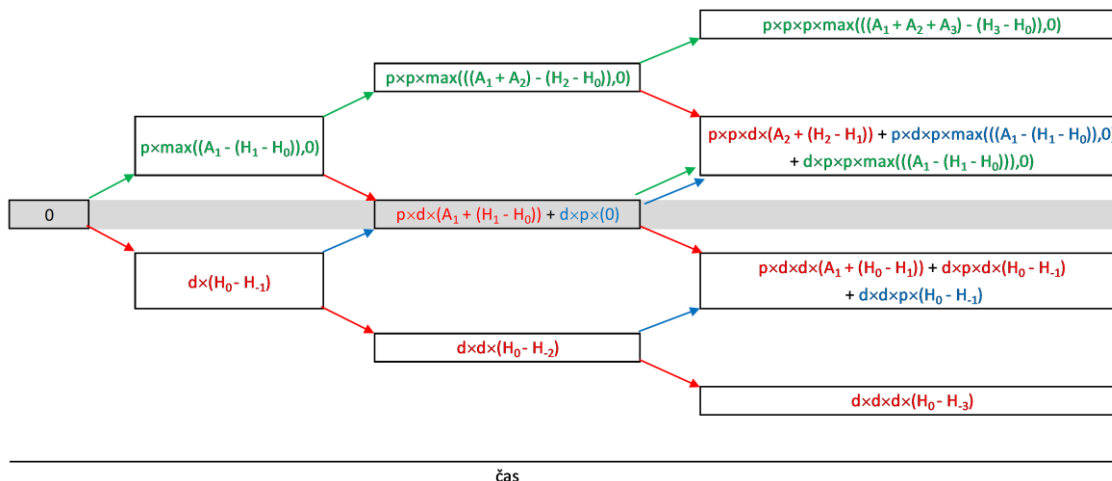
Výpočet změny hodnoty nákladů ΔA pro růst požadavků v pozitivních úrovních stromu vypadá při pohledu na Obrázek 40 ve všech případech stejně. Z praktického hlediska je ale nutné rozlišovat, zda se do dané úrovně vstupuje poprvé, a je nutné novou kapacitu pořídit (zelené hodnoty a šipky), nebo již byla v minulosti minimálně jednou navštívená a vyšší kapacita je již pořízená (modré hodnoty a šipky). Rozlišení typu změny hodnoty ΔA při nárůstu požadavků není sice důležité pro výsledné vyčíslení *flexibility* popisovanou variantou metody, protože je v obou případech stejné, ale významnou roli hraje v okamžiku, kdy se aplikuje korekce výpočtu, popsána v kapitole 11.3.

²³ Ze sjednocení principů výpočtu vychází druhá varianta metody.

Tabulka 7. Význam změn hodnot on-premise bez počátečních hodnot [zdroj: vlastní].

	Klesající hodnota ↓	Rostoucí hodnota ↑
Pozitivní úroveň stromu	↓ náklady na vyšší kapacitu, pořízenou v předchozích vyšších úrovních nad rámec počáteční konfigurace, která v novém uzlu není využita	↑ nárůst nákladů vůči předchozí nižší úrovni, spojený s nutností rozšíření kapacity; do úrovně vstupujeme poprvé ↑ nárůst nákladů vůči předchozí nižší úrovni v případě, kdy není nutné novou kapacitu pořizovat; do úrovně jsme dříve již minimálně jednou vstoupili
Negativní úroveň stromu	↓ nula v případě cesty do uzlu, která neobsahuje navýšení kapacity nad počáteční úroveň ↓ náklady na, nad rámec počáteční konfigurace, nově pořízené, ale v uzlu nevyužité kapacity v případě, že cesta do uzlu obsahuje alespoň jedno pořízení nové kapacity	↑ nula v případě, že cesta zahrnuje jen negativní úroveň ↑ náklady na, nad rámec počáteční konfigurace, nově přikoupené, ale v uzlu nevyužité kapacity v případě, že cesta obsahuje alespoň jedno pořízení nové kapacity

Před spojením obou *binomických stromů*, jehož ukázkou pro tři úrovně ukazuje Obrázek 41, a prezentací výpočtu výsledných vnitřních hodnot uzlů, je vhodné vyhodnotit, co stromy vyjadřují a jaký je význam výsledné hodnoty, která jejich spojením vznikne.



Obrázek 41. Sloučení binomických stromů bez počátečních hodnot [zdroj: vlastní].

V *binomickém stromu Cloud Computingu* (Obrázek 39) jsou vidět rozdíly v nákladech, které pro pokles požadavků vyjadřují úspory. V případě *on-premise infrastruktury binomický strom* (Obrázek 40) mimo nárůstu nákladů zobrazuje neefektivitu využívání pořízeného výpočetního výkonu. Spojením obou stromů použitím vzorce (33) vznikne strom, který pro nárůst požadavků zachycuje rozdíl v nákladech mezi *on-premise infrastrukturou* a *Cloud Computingem*. Za předpokladu, že náklady na použití *Cloud Computingu* jsou nižší, reprezentuje vnitřní hodnota uzlu možné úspory při použití tohoto způsobu realizace *IT infrastruktury*. V případě poklesu požadavků vnitřní hodnota uzlu vy-

jadruje součet úspor v nákladech při použití *Cloud Computingu* a hodnoty nákladů na nevyužívaný výpočetní výkon. Spojením hodnot nárůstu a poklesu vznikne hodnota, reprezentující výhody *Cloud Computingu*.

Pro zvýšení přehlednosti není v uzlech stromu uvedený symbol vnitřní hodnoty VH_i . Barevné značení odpovídá značení *on-premise infrastruktury*, význam shrnuje Tabulka 8.

Tabulka 8. Sloučené změny bez počátečních hodnot [zdroj: vlastní].

	Klesající hodnota ↓	Rostoucí hodnota ↑
Pozitivní úroveň stromu	↓ kombinace nákladů na vyšší kapacitu, pořízenou v předchozích vyšších úrovních nad rámec počáteční konfigurace, která v novém uzlu není využita a nižších nákladů na kapacitu Cloud Computingu	↑ rozdíl nákladů vůči předchozí nižší úrovni, spojený s nutností nového pořízení vyšší kapacity on-premise a vyšších nákladů na Cloud Computing ↑ rozdíl nákladů vůči předchozí nižší úrovni pro případ, kdy není nutné nově kapacitu on-premise navyšovat a vyšších nákladů na Cloud Computing
Negativní úroveň stromu	↓ snížení nákladů Cloud Computingu vůči nulté úrovni v případě cesty do uzlu, která neobsahuje navýšení vyšší kapacity on-premise vůči prvotní konfiguraci ↓ kombinaci nákladů on-premise na nově pořízenou, ale v uzlu nevyužitou kapacitu v případě, že cesta obsahuje alespoň jedno pořízení nové kapacity nad rámec prvotní konfigurace a snížení nákladů Cloud Computingu vůči nulté úrovni	↑ nula v případě, že cesta zahrnuje jen střídání první negativní a nulté úrovně ↑ rozdíl nákladů Cloud Computingu vůči nulté úrovni v případě, že cesta neobsahuje žádné navýšení kapacity on-premise vůči prvotní konfiguraci ↑ kombinaci nákladů na, nad rámec počáteční konfigurace, nově přikoupenou, ale v uzlu nevyužitou kapacitu on-premise a rozdílů nákladů Cloud Computingu

Po stanovení vnitřních hodnot jednotlivých uzlů je možné přistoupit k finálnímu vyčíslení hodnoty *flexibility* na principu vyčíslení hodnoty *americké opce*. Pro zvýšení přehlednosti popisu výpočtu je nejprve strom vnitřních hodnot (Obrázek 41) přepsán pomocí symbolů vnitřní hodnoty uzlu VH_i . Index i reflektuje období a kombinaci přechodů, kterými se do uzlu došlo. Například hodnota $VH_{2nd+2du}$ znamená, že se jedná o vnitřní hodnotu uzlu ve druhém období a vedou do ní dvě různé cesty. První přes nárůst a pokles požadavků, druhá přes pokles a nárůst. Výsledek převodu zachycuje Obrázek 42.

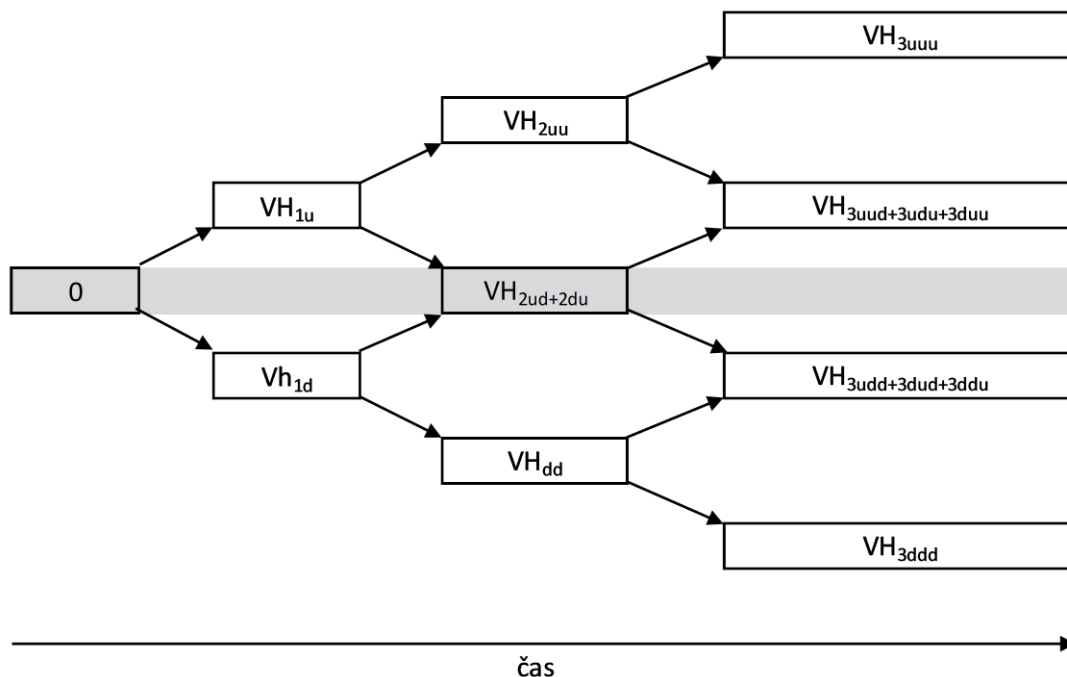
Na zjednodušený popis stromu se aplikují modifikované²⁴ výpočty dle vzorce (24) a (25). Konkrétně se jedná o následující modifikace:

- Pro diskontování je použita efektivní úroková sazba r_e a spojitě úročení.
- Pro výpočet hodnot v pozitivních úrovních *binomického stromu* je aplikován vzorec (24), protože z důvodů rozšiřování kapacity a možného rozšiřování kapacity

²⁴ Modifikace jsou založeny na předpokladech, definovaných v kapitole 9.

rozvoj odpovídá *kupní opci*. Hodnota $\max(S_{i,n-1} - X, 0)$ je nahrazena vypočtenou hodnotou \mathbf{VH}_i .

- Pro výpočet hodnot v negativních úrovních *binomického stromu* je aplikován vzorec (25), protože z důvodů snižování kapacity a možného odprodeje rozvoj odpovídá *prodejní opci*. Hodnota $\max(X - S_{i,n-1}, 0)$ je nahrazena vypočtenou hodnotou \mathbf{VH}_i .



Obrázek 42. Substitute vnitřních hodnot uzlů binomického stromu [zdroj: vlastní].

Výsledná vypočtená hodnota je kombinací *prodejní* a *kupní opce*, kterou vyjadřuje vzorec (35), spojující vzorce (24) a (25).

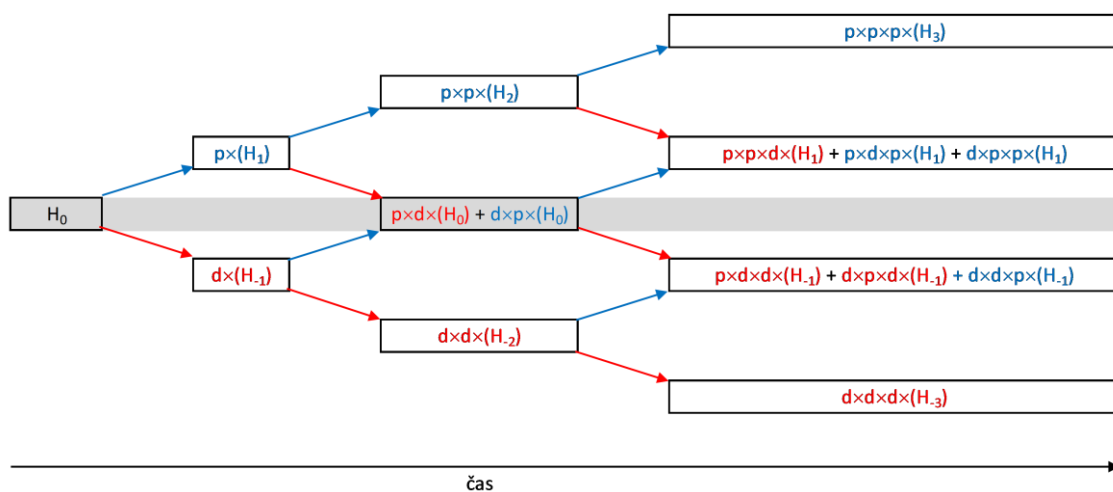
$$C_{i,n-1} = \max[e^{-r_e} \times (p \times C_{i,n} + (1 - p) \times C_{i+1,n}), \mathbf{VH}_{i,n-1}] \quad (35)$$

Aplikaci vzorce na vypočtené hodnoty uzlů *binomického stromu* se třemi úrovněmi ukazuje obrázek v Příloze B. Výslednou finanční hodnotu *flexibility Cloud Computingu* vzhledem k *on-premise infrastruktuře* obsahuje počáteční uzel $\mathbf{C}_{0,0}$. Obecně ji lze charakterizovat jako kombinaci nižších poplatků a úspor při změně požadavků vzhledem k celkové investici. Vyjadřuje náklady, o které je *agilní* organizace schopna při provozu IT služeb v dynamickém prostředí, charakterizovaném *volatilitou* σ a při využití *Cloud Computingu*, snížit celkové náklady na *IT infrastrukturu*.

11.2.4 Varianta se zahrnutím počáteční investice do výpočtu

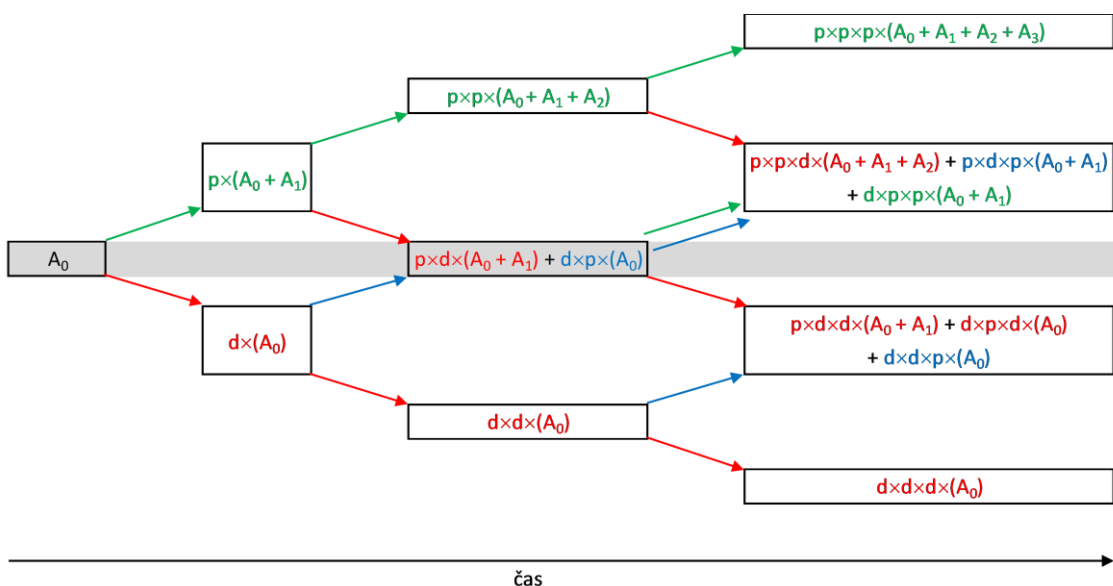
Odlíšnost druhé varianty metody spočívá v zahrnutí hodnoty počáteční kapitálové investice *on-premise infrastruktury* v nulté úrovni \mathbf{A}_0 a jí odpovídající hodnoty poplatků *Cloud Computingu* \mathbf{H}_0 do výpočtu. V důsledku toho dochází k modifikaci významu a způsobu výpočtu vnitřních hodnot uzlů \mathbf{VH}_i . Zbytek výpočtu je stejný jako u metody bez zahrnutí počáteční investice.

Do výpočtu vnitřní hodnoty uzlu VH_i nevstupují změny hodnot ΔH a ΔA , ale hodnoty celkových nákladů H a A , které jsou v dané úrovni vynakládány na provoz odpovídajícího typu infrastruktury. Pro *Cloud Computingu* je hodnota H rovna výši platby za výpočetní kapacitu a modifikaci *binomického stromu* jejího rozvoje ukazuje Obrázek 43.



Obrázek 43. Rozvoj hodnot Cloud Computingu s počátečními hodnotami [zdroj: vlastní].

Modrá barva indikuje nárůst požadavků, červená jejich pokles. Hodnoty vah jsou počítány opět z pravděpodobnosti dosažení uzlu. Výhodou, kterou zahrnutí počáteční investice do výpočtu přineslo, je sjednocení výpočtů v pozitivních a negativních úrovních stromu, které zpřehledňuje a zjednodušuje výsledný výpočet. Dopady započítání počáteční investice u *on-premise infrastruktury* jsou obdobné. Modifikovaný *binomický strom* rozvoje hodnot nákladů A ukazuje Obrázek 44.



Obrázek 44. Rozvoj hodnot on-premise s počátečními hodnotami [zdroj: vlastní].

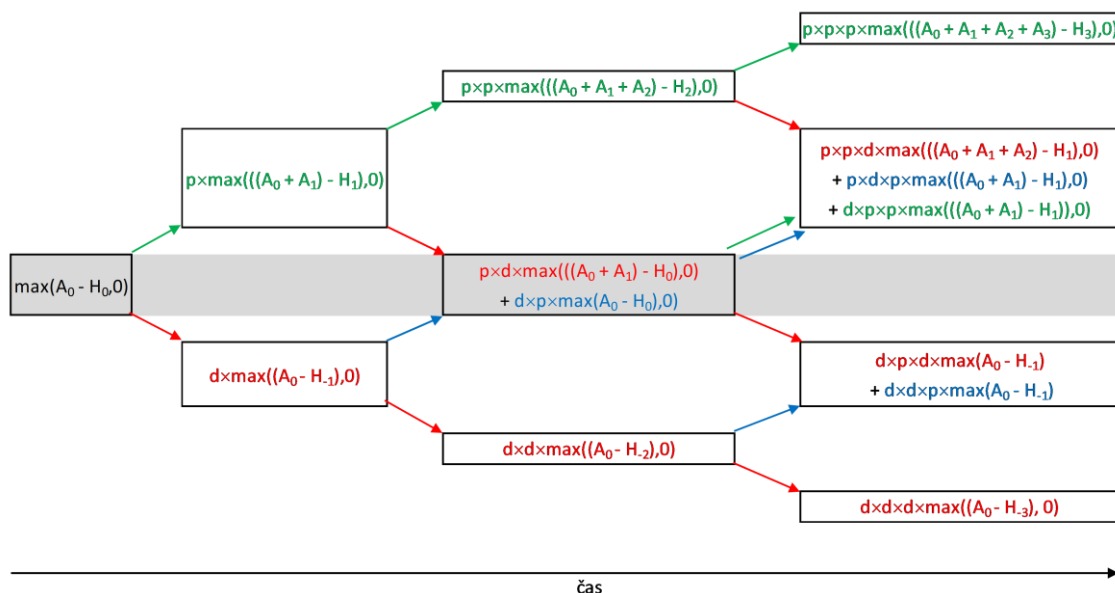
Do vnitřní hodnoty uzlu VH_i se započítávají všechny náklady (anuitní platby), vynaložené za výpočetní kapacitu *on-premise infrastruktury*, odpovídající požadavkům v dané úrovni. Změna způsobu výpočtu se nejvíc projevuje v negativních úrovních, kde jsou nulové hodnoty nahrazeny hodnotou A_0 . Barevné značení přechodů opět vyjadřuje

praktické vnímání vynakládání nákladů, které má vliv až na případnou korekci nákladů *on-premise infrastruktury*.

Zjednodušeně lze vnímání přechodů rozdělit do tří typů, které vycházejí ze situací, které popisuje Tabulka 7:

- **Zelená barva** – nákup nového výpočetního výkonu nad rámec počáteční investice, do výpočtu vstupují všechny náklady, odpovídající úrovni *binomického stromu*.
- **Modrá barva** – náklady na pokrytí všech požadavků v dané úrovni, přičemž se předpokládá, že veškerý nutný výpočetní výkon byl pořízený již dříve.
- **Červená barva** – náklady na veškerý výpočetní výkon, pokrývající odpovídající úroveň *binomického stromu*, navýšený o náklady za nevyužitý výpočetní výkon, pořízený nad rámec počáteční konfigurace v některém z předchozích uzlů, ležících na cestě do daného uzlu.

Výpočet výsledných vnitřních hodnot uzlů, kombinující náklady *Cloud Computingu H* a *on-premise infrastruktury A* ukazuje Obrázek 45.



Obrázek 45. Sloučení binomických stromů s počátečními hodnotami [zdroj: vlastní].

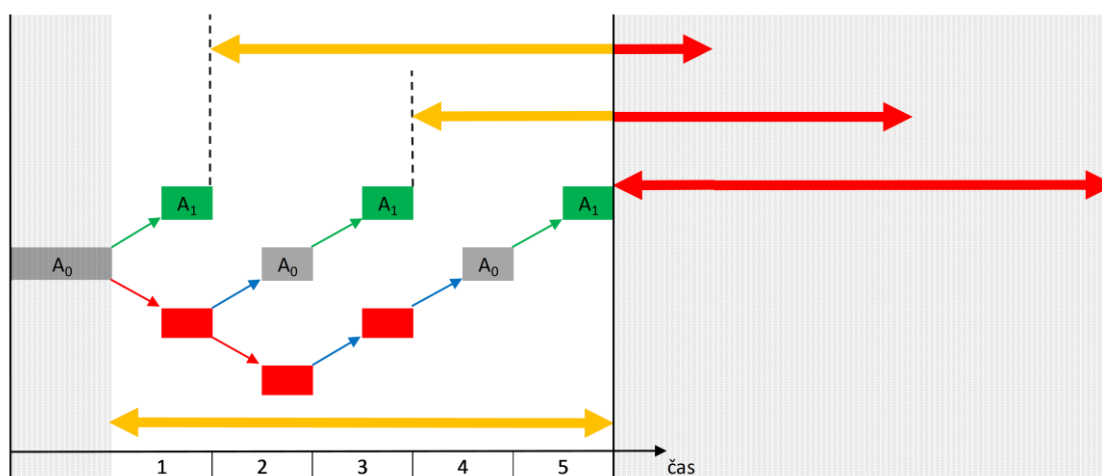
Výsledná finanční hodnota *flexibility* se z tohoto stromu získá zpětným průchodem *binomického stromu* dle obrázku v Příloze B a aplikací vzorce (35) z uzlu $C_{0,0}$. Obecně ji lze charakterizovat jako rozdíl v celkových nákladech *Cloud Computingu* a *on-premise infrastruktury agilní* organizace, poskytující IT služby v dynamickém prostředí, charakterizovaném *volatilitou* σ . Výhodou metody je standardizace výpočtu a sjednocení významu vnitřních hodnot všech uzlů.

11.3 Životnost projektu a korekce výpočtu

Obě představené metody výpočtu jsou založeny na rozdílu nákladů za výpočetní výkon *Cloud Computingu* a *on-premise infrastruktury*. Velkou výhodou *Cloud Computingu*, která zatím nebyla podrobněji analyzována a má vliv na výpočet vnitřních hodnot uzlů, je skutečnost, že není třeba řešit životnost nakoupeného výpočetního výkonu. Jinými

slovy, po ukončení projektu není třeba řešit otázku, jestli u komponent, které byly pořízené za účelem navýšení výkonu, vypršela životnost a je možné je ještě po nějakou dobu, se zárukou nebo bez ní, používat. Náklady jsou vždy vynaložené jen na to, co se skutečně spotřebovalo. Pokud se po skončení projektu nebude veškerý dříve pořízený výpočetní výkon dále používat, je možné s okamžitou platností snížit náklady na nulovou hodnotu. A to bez nutnosti vynakládat další náklady na jeho likvidaci nebo podobné účely.

U *on-premise infrastruktury* je situace jiná. Vybrané, nebo všechny pořízené, komponenty infrastruktury je většinou možné z důvodů fyzické životnosti používat ještě určitou dobu po skončení projektu. Jejich likvidací a nevyužíváním před skončením životnosti dochází ke ztrátě z nevyužitého výpočetního výkonu. Zvláště se jedná o komponenty, které byly pořízeny v pozdějších obdobích projektu, za účelem navýšení výpočetního výkonu. Příklad takové situace ukazuje Obrázek 46.



Obrázek 46. Korekce výpočtu on-premise [zdroj: vlastní].

Zachycuje výsek *binomického stromu*, v rámci kterého je životnost projektu rozdělena na pět období. Před začátkem projektu byla pořízena výpočetní kapacita, odpovídající anuitním splátkám A_0 a její životnost je rovna délce životnosti projektu. Teoreticky tak není nutné řešit, co s touto pořízenou kapacitou po skončení projektu dělat. Nutné je dořešit jen její likvidaci, kterou pro účely této práce zanedbáváme.

Ve výseku stromu je dále naznačeno, při stejném chápání barev jako v předchozích kapitolách 11.2.3 a 11.2.4, pořizování dodatečné výpočetní kapacity, která odpovídá anuitním splátkám A_1 . Komplikací, která korekci ztěžuje, je skutečnost, že pořízení stejné dodatečné výpočetní kapacity lze provést ve více různých uzlech stromu. Konkrétně, Obrázek 46 ukazuje, že pro uvedený příklad existují celkem tři různé cesty a uzly stromu, v rámci kterých je nutné navýšení výkonu A_1 provést.

Při předpokladu, že všechny komponenty celkového výpočetního výkonu mají stejnou životnost, která je rovna životnosti projektu (oranžová šipka nad časovou osou), je zřejmé, že pro později přikoupené komponenty nebude plná životnost a výpočetní výkon nikdy využitý. Dochází tak k neefektivitě pořízení a vynakládání zbytečných nákladů. Tuto situaci znázorňují oranžovo červené šipky v horní části obrázku. Oranžová barva znamená využití kapacity v rámci projektu, červená zbývající délku životnosti po skončení projektu. Délka červené části zachycuje nevyužitou kapacitu od šestého období, tedy po skončení projektu. Čím později a blíže konci projektu se výpočetní výkon pořídí, tím větší ztráty nevyužitý výkon představuje. Nevyužitý výkon *on-premise infrastruktury* je tak dalším parametrem, který je třeba při vyhodnocení *flexibility* vzít

v úvahu a zahrnout jej do obou popsaných metod výpočtu formou korekce nákladů *on-premise infrastruktury*.

Pokud se vyjde ze základů metody finančního hodnocení *flexibility*, které představuje vzorec (33) pro výpočet vnitřní hodnoty uzlu, je možné za korekci považovat přičtení všech nákladů za dobu, kdy je výpočetní výkon nevyužitý, k hodnotě \mathbf{VH}_i , která byla spočítána jednou z variant metody. Tedy připočtení všech anuitních splátek, odpovídajícím způsobem diskontovaných, za období, následující po skončení projektu v době \mathbf{T} a trvající do konce životnosti pořízeného výkonu. Možností provedení přičtení je několik. První možností je provést přičtení v poslední úrovni vytvořeného stromu. To ale není triviální operace, protože je nutné reflektovat všechny uzly, v rámci kterých byl výpočetní výkon navýšený, a přiřadit jim odpovídající váhy. V případě, který popisuje Obrázek 46, je nutné provést tři různá přičtení.

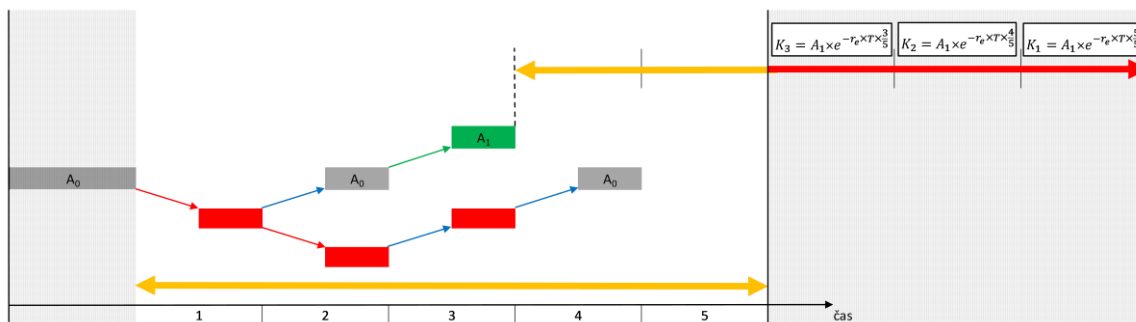
Pro účely této práce je korekce prováděna jednodušším a přehlednějším způsobem. Vychází z úvahy, že nevyužitý výpočetní výkon je známý již v době pořízení výpočetní kapacity. Protože známe období, kdy byl výkon pořízený a počet období do konce projektu, můžeme rozdílem těchto dvou dob jednoduše zjistit, jak velký bude nevyužitý výpočetní výkon po skončení projektu. Korekci pak lze provést jednoduchým připočtením diskontovaného nevyužitého výpočetního výkonu přímo v uzlu, kde došlo k prvotnímu pořízení kapacity. Přiřazením váhy cesty, která je stejná jako pro nákladové položky za *Cloud Computing* a *on-premise infrastrukturu*, reflektujeme časový okamžik, kdy k pořízení došlo. Výsledná vnitřní hodnota uzlu má po započtení korekce podobu, odpovídající vzorci (36).

$$VH_{kor} = pr_{uzlu} \times (VH + K) \quad (36)$$

Hodnota \mathbf{VH}_{kor} je výslednou vnitřní hodnotou uzlu po korekci, pr_{uzlu} představuje hodnotu pravděpodobnosti dosažení uzlu a je rovna kombinaci pravděpodobnosti \mathbf{p} a \mathbf{d} (viz kapitola 11.2.3). Hodnota \mathbf{VH} představuje vnitřní hodnotu uzlu, spočítanou jednou z popsaných metod a parametr \mathbf{Korr} představuje výši korekce za nevyužitý výpočetní výkon.

Při odvození vzorečku pro výpočet hodnoty \mathbf{Korr} je možné vyjít z příkladu, který zachycuje Obrázek 46. Ten ukazuje, že platba za navýšený výkon je provedena na konci každého období a odpovídá tak opčnímu principu, že nárůst nebo pokles hodnoty (viz kapitola 6) se hodnotí na konci období. Z pohledu *agility*, jak ji zachycuje Obrázek 31, je možné tento princip přirovnat k přechodům mezi prvním a druhým kvadrantem a přechodům mezi druhým (případně prvním) a třetím kvadrantem. Doba od začátku do konce období reprezentuje dočasný stav, tedy přechody mezi prvním a druhým kvadrantem, kdy jsou po přechodnou dobu pokrývány požadavky konfigurací ze začátku období. Konec období odpovídá přechodům mezi druhým (případně prvním) a třetím kvadrantem, kdy se na základě požadavků mění vyžadovaná výpočetní kapacita.

Při tomto způsobu výpočtu hodnoty korekce \mathbf{Korr} obecně platí, že každé navýšení výkonu znamená minimálně jedno nevyužití období v rámci projektu a korekci je nutné provádět vždy, když dojde k navýšení výpočetní kapacity. Například pro navýšení výkonu o hodnotu \mathbf{A}_1 ve třetím období projektu se v rámci projektu vyčerpají jen dvě pětiny životnosti nově pořízených komponent a nevyužitá zůstanou, jak ukazuje Obrázek 47, tři pětiny.



Obrázek 47. Ukázka korekce vnitřní hodnoty uzlu binomického stromu [zdroj: vlastní].

Protože se jedná o neefektivně vynaložené náklady v budoucnosti, je nutné hodnoty nevyužitých nákladů k třetímu období diskontovat. Aplikací spojitého diskontování a efektivní úrokové míry r_e je možné podle vzorce (37) spočítat hodnotu korekce K_j pro období j , které je nevyužité. Index j znamená pořadí nevyužitého období od konce životnosti nového výkonu ke konci životnosti projektu T a hodnota A_i reprezentuje hodnotu anuitní splátky v úrovni i .

$$K_j = A_i \times e^{-r_e \times T \times \frac{(n-j-1)}{n}} \quad (37)$$

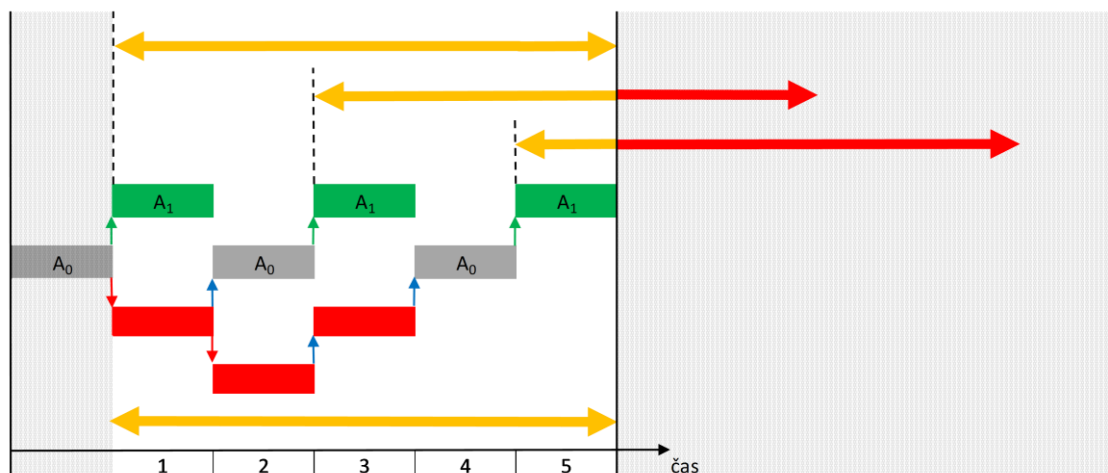
Součtem všech splátek za nevyužitý výpočetní výkon v uzlu, kde při *průchodu binomickým stromem* dochází k prvnímu pořízení výpočetního výkonu A_i pro úroveň i , lze získat finální hodnotu korekce $Korr_i$, kterou vyjadřuje vzorec (38).

$$Korr_i = A_i \times \sum_{j=0}^{m-1} e^{-r_e \times T \times \frac{(n-j)}{n}} \quad (38)$$

Parametr m reprezentuje index období, na jehož konci k navýšení kapacity došlo, hodnota n celkový počet období, na které je rozdělena doba životnosti projektu T . Vzhledem k tomu, že pro všechny uzly v každé pozitivní úrovni stromu existuje minimálně jedna cesta, v rámci které se pořizuje nová výpočetní kapacita, je třeba korekci aplikovat do všech uzlů v pozitivní úrovni, mimo úroveň nula.

Polemiku způsobu výpočtu hodnoty korekce $Korr_i$ může vzbudit vynaložení nákladů za navýšení *on-premise* kapacity až na konci každého období. Alternativní způsob výpočtu korekce ukazuje Obrázek 48, kdy jsou náklady vynaložené již na začátku období. Rozdíly od předchozího způsobu korekce jsou patrné přímo z obrázku. Navýšení kapacity A_1 v prvním období znamená, že po skončení projektu skončí i životnost komponent, a v odpovídajícím uzlu není nutné korekci provádět. Pro ostatní uzly platí, že se vždy provádí o jednu korekci méně, než v předchozím případě. Hodnota korekce $Korr_i$ se v tomto případě počítá podle vzorce (39).

$$Korr_i = A_i \times \sum_{j=1}^{m-1} e^{-r_e \times T \times \frac{(n-j)}{n}} \quad (39)$$



Obrázek 48. Korekce on-premise v případě platby na začátku období [zdroj: vlastní].

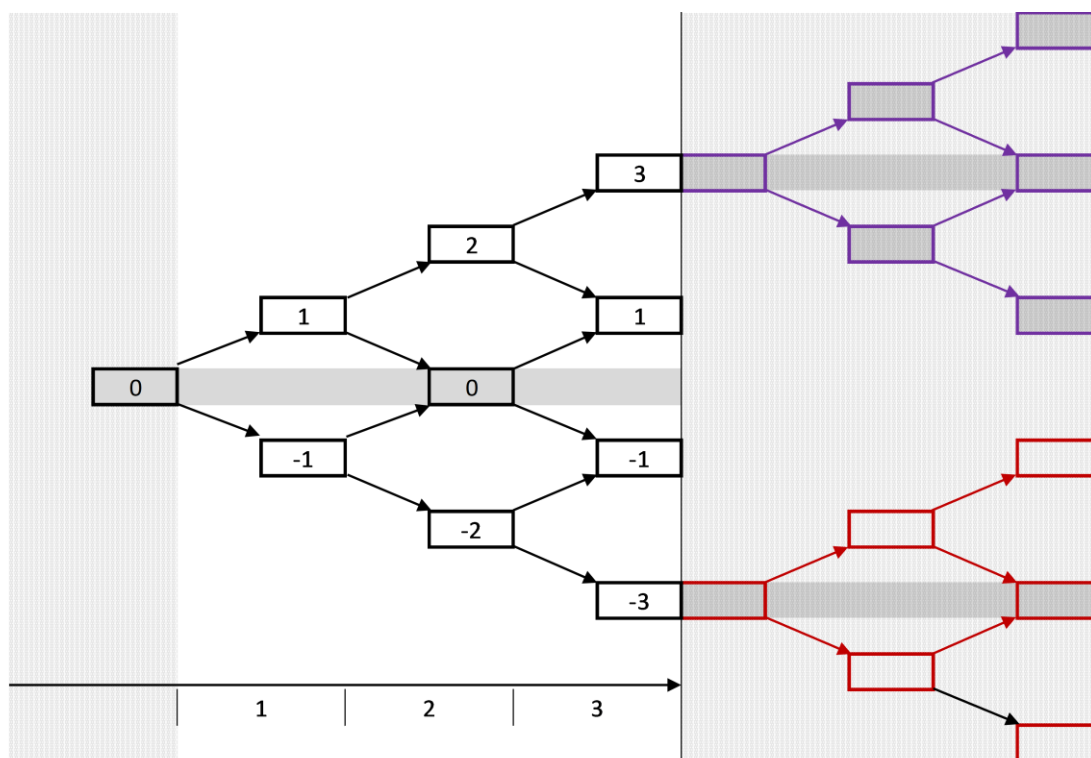
Při rozhodování o způsobu výpočtu hodnoty korekce hrál největší roli praktický pohled na vynaládání nákladů. Metoda s vynaložením na konci období předpokládá, že se na začátku období pořídí výpočetní výkon s dostatečnou rezervou, která pokrývá požadavky až do dosažení vyšší úrovně na konci období. Zkoumané období o délce jednoho měsíce by mělo být dostatečně krátké na to, aby nebylo nutné kapacitu navyšovat. Pokud je na konci období definitivně potvrzený růst požadavků, dojde k navýšení výpočetního výkonu. V případě, že růst potvrzený není a přechází se do nižší úrovně, navýšení se neprovede. Metoda s pořízením na začátku naopak reprezentuje situaci, kdy se předpokládá, že na konci období bude nutné výpočetní výkon navýšit vždy a pro případ, že by nebylo možné požadavky pokrýt z rezerv, je pro jistotu navýšení provedeno na začátku období. To se zdá být výhodnější, ale jen za předpokladu, že se očekává nárůst požadavků. V případě poklesu požadavků (červené přechodové šipky) na konci období, jsou náklady na nevyužitou kapacitu počítané i z navýšené kapacity, která zatím nemusela být využita. Celkově lze konstatovat, že obě metody korekce mají své výhody a nevýhody. Pro účely této disertační práce byla nakonec zvolena metoda první, spojená s navýšením na konci období. Její možné nepřesné výstupy jsou plně kompenzovány jednoduchostí a předpokladem, že délka období jeden měsíc neznamená zásadní změnu požadavků mimo očekávaný rámec. Princip navýšení na konci období je aplikovaný také u obou variant výpočtu hodnoty *flexibility*, popsanych v kapitole 11.2.3 a 11.2.4.

Naznačené úvahy ukazují, že problematika nákupu různých komponent, v různých časech, s různou životností a provedení případných korekcí z pohledu jejich efektivního využití je komplexní úlohou. V případě této práce bylo provedeno zjednodušení na stejnou délku životnosti všech komponent, která se rovná délce hodnoceného projektu. Zjednodušení bylo možné provést proto, že se nejedná o klíčovou část práce. Smyslem bylo především poukázat na další možné nevýhody *on-premise infrastruktury*, které není v případě využití *Cloud Computingu* nutné řešit. Ověření navržených variant, popsane v kapitole 12, potvrdilo, že započtení korekcí do výpočtu hodnoty *flexibility* výrazným způsobem znevýhodňuje *on-premise infrastrukturu*, vycházející z *neefektivity* vynaložených nákladů na pořízení a provoz. Protože *neefektivita* a *flexibilitou spolu* moc nesouvisí, je vhodnější ji hodnotit samostatně, jako další vstupní parametr rozhodování o investičním záměru. Další informace o problematice lze najít například v disertační práci [114].

Na závěr je nutné podotknout, že popsaná *neefektivita* nastává jen za situace, kdy po skončení projektu v čase T již dále nepokračuje provozování *on-premise infrastruktury*,

nebo jejích komponent, a celá se likviduje. Realita je ve skutečnosti jiná, protože se v praxi obvykle realizuje některý z následujících scénářů:

- Projekt definitivně skončil a ani jeho výstupy se již nebudou používat:
 - Komponenty výpočetního výkonu se využijí pro jiné účely.
 - Komponenty, kterým neskončila životnost a lze je za zbytkovou cenu odprodat, se odprodají.
- Projekt skončil, ale jeho výstupy se budou dále využívat:
 - Pořízený výpočetní výkon se provozuje buď do doby, než skončí fyzická životnost komponent nebo dokud vedení organizace usoudí, že nemá smysl jej pro účely výstupů projektu dále využívat. Prodloužením provozu se díky dodatečným výnosům snižují náklady na nevyužitou kapacitu.
 - Výstupy projektu se berou jako vstupy pro další plánování, podobně jako v kapitole 9, kde se plánovaly parametry produkčního prostředí na základě výstupů pilotního provozu (viz Obrázek 29). V tomto případě je možné situaci chápat jako dynamické rozdělení třetí fáze na více částí podle aktuálního vývoje organizace a trhu. Na jeden nebo více vybraných koncových uzlů lze navázat nový *binomický strom* a provést stejné úvahy o hodnotách investice nebo *flexibility*. Příklad navázání *binomických stromů* ve třetí a minus třetí úrovni ukazuje Obrázek 49.



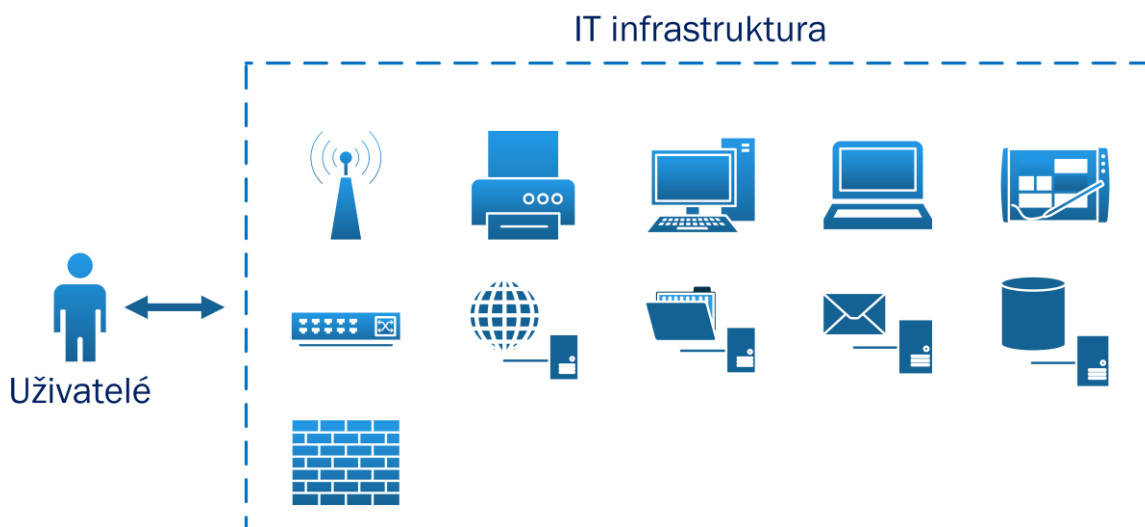
Obrázek 49. Příklad navázaných binomických stromů [zdroj: vlastní].

11.4 Vstupní hodnoty výpočtu

Podobně jako v jiných případech, i u navržených variant metody platí, že kvalitu výstupů výrazně ovlivňuje kvalita vstupních dat. Proto je nutné jim rozumět. Na první pohled by se totiž mohlo zdát, že stanovení hodnot nákladů *Cloud Computingu* **H** a *on-premise infrastruktury* **A** je triviální záležitostí. Autorem disertační práce provedené praktické experimenty (viz kapitola 8) ukazují, že se naopak jedná o komplexní úlohu, která výrazným způsobem ovlivňuje výsledné vypočtené hodnoty. Protože ale tato problematika není cílem disertační práce, jsou v této kapitole popsány jen základní principy, pomocí kterých bylo možné pro ověření metody, popsaného v kapitole 12, udělat intuitivní expertní odhad vstupních hodnot, odpovídajících povaze ověřovacích testů.

11.4.1 Infrastruktura a výpočetní výkon

V kapitole 2.1 bylo uvedeno, že *IT infrastruktura* představuje veškeré technické i netechnické prostředky, které umožňují provozovat a poskytovat IT služby. Rozsah a struktura definují výpočetní výkon, který je možné od infrastruktury vyžadovat. Čím vyšší výkon se očekává, tím komplexnější je struktura a výše nákladů jak na pořízení, tak i provoz. V případě *on-premise infrastruktury* je vše ve vlastnictví konzumenta, který je sám sobě i poskytovatelem. Zjednodušený příklad *on-premise infrastruktury* ukazuje Obrázek 50.

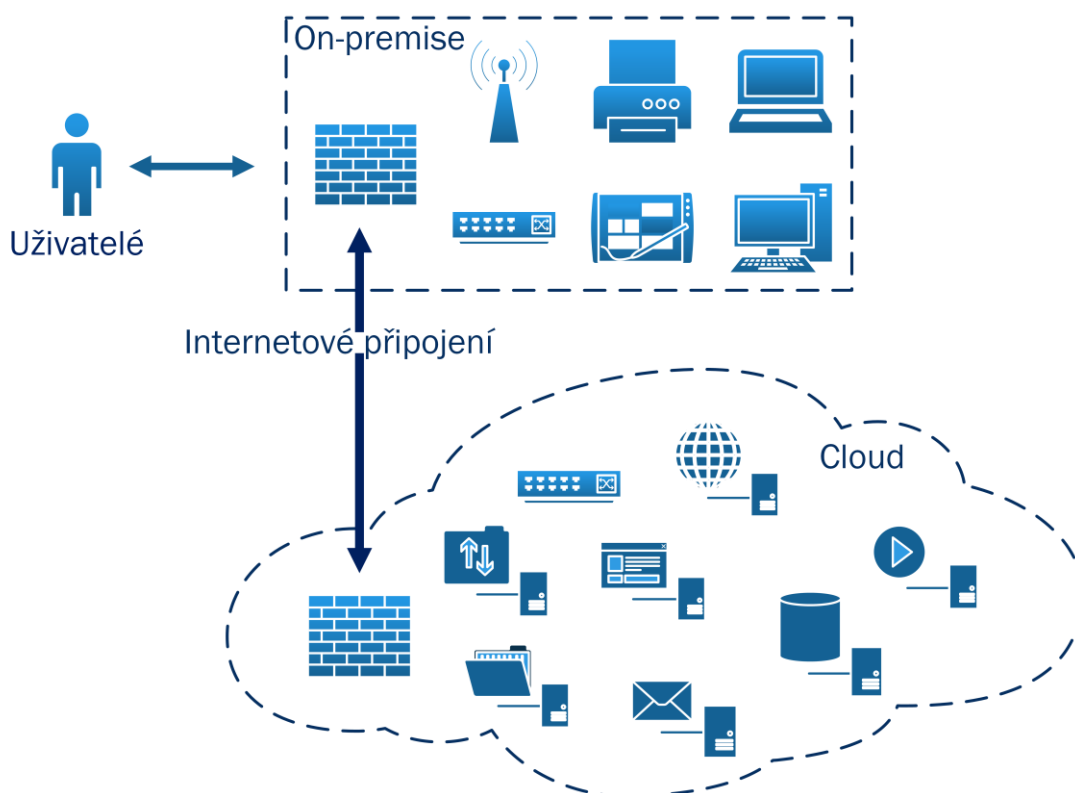


Obrázek 50. On-premise infrastruktura [zdroj: vlastní].

Pokud je organizace konzumenta služeb nová, musí obvykle pořídit všechny komponenty infrastruktury. Jestliže již nějakou dobu funguje, znamená přidání služby nebo navýšení výpočetního výkonu obvykle jen doplnění nových komponent a modifikaci stávající konfigurace. U *Cloud Computing* je to jiné, protože větší část, v extrémním případě vše, mimo koncová zařízení uživatelů a připojení, si konzument pronajímá od poskytovatele (viz Obrázek 51). Obvykle je jedno, zda si objednáva na začátku fungování organizace nebo přiojednáva v době jejího fungování. Vždy si objednáva službu s konkrétními parametry, a jaká část dříve využívaných komponent, je na pozadí sdílená s těmi nově využívanými, pro něj není důležité, respektive jej to nezajímá. Objevuje se tak první problém, spojený se stanovením vstupních hodnot, vázaný na *on-premise infrastrukturu*. Týká se stanovení, jak velkou část infrastruktury, v případě, že organizace již nějakou infrastrukturu vlastní a využívá, je nutné při objednávání výpočetního výkonu nově pořídit. Existující kalkulátory, jejichž příklady byly uvedeny v kapitole 5.4, do porovnání

ve výchozí konfiguraci zahrnují pořízení a provoz veškeré infrastruktury, což je v případě, že organizace konzumenta již nějakou infrastrukturou disponuje, zavádějící a zkrsluje to výsledky. Situaci navíc komplikuje skutečnost, že při opakovaném navyšování stejného výkonu se v některých případech musí infrastruktura rozšířit výrazně více, než v jiných.

Druhým problémem, opět spojeným především s *on-premise infrastrukturou*, je stanovení rezervy pořizovaného výpočetního výkonu tak, aby infrastruktura byla schopna pokrýt dočasné zvýšení požadavků na výpočetní výkon (viz Obrázek 31, přechod z kvadrantu jedna do kvadrantu dva a zpět) a nebylo nutné při každé změně požadavků infrastrukturu ihned měnit. Podobně je nutné zajistit, aby bylo možné infrastrukturu jednoduše a s minimálními náklady rozšířit o nové prvky nebo navýšit kapacitu stávajících prvků.



Obrázek 51. Cloud Computing infrastruktura [zdroj: vlastní].

Návrh *on-premise infrastruktury* je náplní práce *systémového architekta*, který musí umět navrhnout optimální konfiguraci na základě jak byznys, tak technologických požadavků. V případě, že se navrhuje úplně nová infrastruktura, je vhodné se minimálně inspirovat infrastrukturou, kterou v sobě zahrnuje *privátní* model nasazení *Cloud Computingu* (viz kapitola 2.2.3). Příklad tvorby *privátního Cloud Computingu*, včetně výčtu nezbytných komponent infrastruktury, lze najít například ve [115]. Také se lze inspirovat výstupy některého z existujících konfigurátorů. V každém případě je, jak u *Cloud Computingu*, tak *on-premise infrastruktury*, nutné znát konkrétní požadavky na výpočetní výkon.

11.4.2 Stanovení výpočetního výkonu

Infrastruktura, nebo její část, podporující novou službu, by měla být vždy navrhována s ohledem na požadavky byznysu, které definují funkčnost a počty konzumentů, používaných službu jak při spuštění, tak dle prvotního odhadu i v budoucnu. Překlopení byznys požadavků na technologické obvykle probíhá na základě propojení byznys a IT strategie, především modelů popsanych v kapitole 3.1.2 a 3.1.3. Výsledkem je specifikace výpočetního výkonu a kapacity zpracovávaných dat. Na základě těchto požadavků může *systemový architekt* navrhnout a dimenzovat jednotlivé komponenty a jejich propojení, případně začlenění do již existující infrastruktury. V případě *Cloud Computingu* vybrat odpovídající výpočetní výkon a kapacitu, která se bude průběžně využívat.

Komplikací, které je třeba při návrhu řešit, je několik. V první řadě je to různorodost služeb a jim odpovídajících aplikací, respektive požadované infrastruktury. To, co je z hlediska výkonu dostatečné pro webový server, nemusí být dostatečné pro databázový server. Stejně tak náklady na provoz databázového serveru mohou být zbytečně vysoké při provozu samostatného webového serveru na stejné infrastruktuře. Při řešení tohoto problému je možné vyjít z předchozích zkušeností s provozem podobné služby. Jestliže organizace zkušenosti má, je možné se jimi inspirovat a odhady provést na jejich základě. Pokud žádná předchozí zkušenost neexistuje, je třeba konfiguraci navrhnout na základě znalostí *systemového architekta*. Možností, jak odhad v obou případech zpřesnit, je například měření potřebných parametrů, spojených s výpočetním výkonem v rámci pilotního provozu. Typicky se jedná o zatížení a počet jader procesoru, obsazenost paměti, datové toky a využití datového prostoru. V případě, že organizace zatím žádnou infrastrukturu k dispozici nemá, je možné pro tyto účely využít testovací provoz v prostředí *Cloud Computingu*, který nabízí většina poskytovatelů *Cloud Computingu* v omezené podobě zdarma.

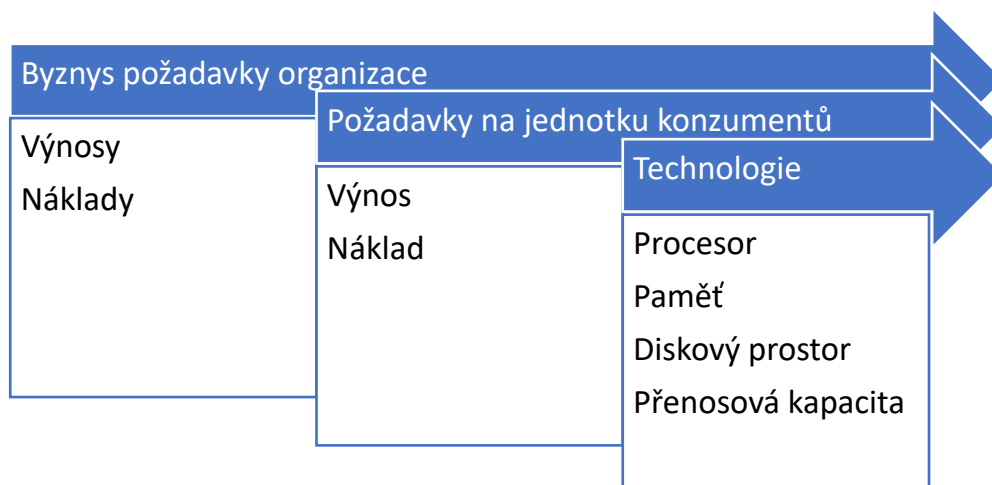
Z naměřených hodnot lze získat představu o nárocích služby na výkon infrastruktury pro určitý počet uživatelů. Při odhadu způsobu a formy navyšování výpočetního výkonu, spojeného s růstem požadavků, je třeba při návrhu nezapomenout na navyšování nezbytné režie, která není na první pohled viditelná a která při určitých změnách konfigurace navyšování nejen komplikuje, ale také výrazně navyšuje náklady. U *on-premise infrastruktury* například nelze umístit do jednoho serveru neomezený počet procesorů a pamětí, záložní zdroj umožní připojit omezený počet serverů, síťový switch má omezený počet vstupů a přenosovou kapacitu. *Cloud Computing* se z tohoto pohledu jeví na první pohled jako jednodušší, protože problémy režie se do výběru potřebného výpočetního výkonu nezahrnují. Vše vychází z infrastruktury poskytovatele. Jak ale ukázala například studie [116], pro každého poskytovatele a různé typy výpočetní kapacity se problémy s režii na pozadí projevují i u *Cloud Computingu*. Především v případě vyššího počtu uživatelů a na výkon náročnější služby se kvalita služeb může zhoršit. Z toho důvodu se v některých případech například rozkládá provoz služeb mezi více poskytovatelů.

Ze získaných požadavků, odhadů, předpokladů a výsledků měření je možné stanovit obecné pravidlo převodu počtu uživatelů na odpovídající výpočetní výkon a technické prostředky, které jej poskytnou. Jako vhodná se jeví metoda přepočtu, kterou autor této práce navrhl ve spolupráci se společností IBM a ověřil v rámci bakalářské [117] a diplomové práce [109] Veroniky Dvořákové²⁵. Zjednodušeně ji demonstruje Obrázek 52.

Výchozím bodem metody je stanovení požadavků na „jednotku konzumentů“ (prostřední část obrázku), která může být tvořena jedním nebo více konzumenty. Každé

²⁵ Autor této disertační práce byl v obou případech vedoucím práce.

jednotce je přiřazen odpovídající výpočetní výkon, zahrnující požadavky na výkon procesoru, velikost paměti, diskový prostor a případně přenosovou kapacitu, jak naznačuje pravá část obrázku. Tyto čtyři parametry, zahrnující i režii a rezervu pro pokrytí dočasných vyšších požadavků, jsou dostatečné pro výběr výpočetního výkonu *Cloud Computingu* i návrh *on-premise infrastruktury*. Výsledkem je také odhad celkové výše nákladů, které je třeba na každou „jednotku konzumentů“ vynaložit. V okamžiku, kdy je známý poměr náklady/uživatel, je možné „jednotce konzumentů“ přiřadit na základě byznys strategie hodnotu výnosů R_u , které budou konzumenti používáním služby organizaci vynášet.



Obrázek 52. Stanovení výpočetního výkonu [zdroj: vlastní].

Levá část obrázku naznačuje, jakým způsobem se následně provede přepočítání vygenerovaného *binomického stromu*, založeného na predikci vývoje budoucích toků S (viz například Obrázek 20) na strom, který je základem výpočtu vnitřních hodnot VH_i , popsaných v kapitolách 11.2.3 a 11.2.4. Pomocí hodnoty výnosů R_u na „jednotku konzumentů“, se stanoví počet jednotek, nutných pro pokrytí požadavků v jednotlivých uzlech stromu a z nich se vypočítají odpovídající náklady na pořízení a provoz. Výsledkem je převodová tabulka, pomocí které je možné pro každý uzel stromu stanovit náklady za *on-premise infrastrukturu* a *Cloud Computing*. Ukázkou převodové tabulky pro *binomický strom* se dvěma obdobími ukazuje Tabulka 9.

Tabulka 9. Ukázkou výpočtu nákladů na výpočetní výkon [zdroj: vlastní].

Úroveň stromu	Hodnota S	Počet jednotek	Náklady on-premise	Náklady Cloud Computing
2	S_2	S_2 / R_u	$A_0 + A_1 + A_2$	H_2
1	S_1	S_1 / R_u	$A_0 + A_1$	H_1
0	S_0	S_0 / R_u	A_0	H_0
-1	S_{-1}	S_{-1} / R_u	A_0	H_{-1}
-2	S_{-2}	S_{-2} / R_u	A_0	H_{-2}

Převodová tabulka je zjednodušená, protože nezahrnuje stav, kdy se po určitém počtu navýšení kapacity výpočetního *on-premise infrastruktury* vyčerpá její schopnost provést další rozšíření a je nutné provést rozšíření větší, spojené s režijní částí na pozadí. Toto rozšíření bývá ve většině případů výrazně nákladnější, než rozšíření, které ukazuje Tabulka 9. Do převodové tabulky by se toto rozšíření promítlo tak, že by se od určitých vyšších hodnot, definovaných velikostí hodnot S_i k uvedeným hodnotám nákladů *on-premise* připočítávala anuitní hodnota nákladů A_{rez} , reprezentující navýšení režijní části

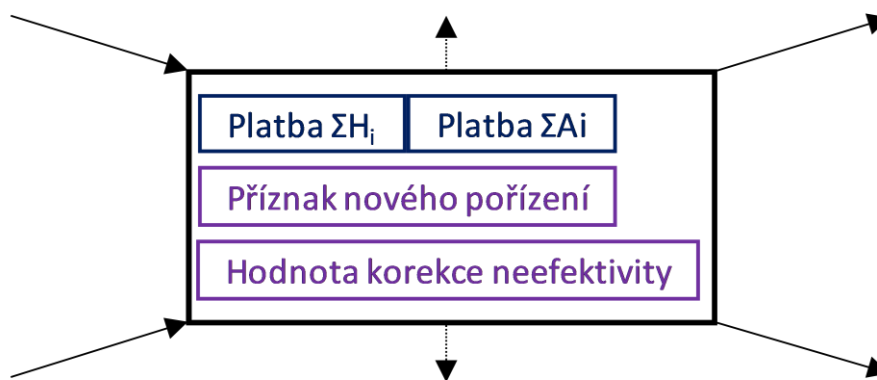
infrastruktury. V případě, že je těchto navýšení více v různých úrovních, přičítají se vždy od úrovně, kde navýšení proběhlo. Tato případná další budoucí navýšení je nutné reflektovat do hodnoty R_u .

11.4.3 Možnosti algoritmizace variant navržené metody

Navržené metody jsou založeny na kombinaci všech průchodů uzly *binomického stromu* a jejich vnitřních hodnot. Pro ověření funkčnosti a výstupů nejsou k dispozici žádné oficiální nástroje. První z možností, jak bylo možné ověřit výstupní hodnoty navržených variant metody, bylo použití programu Microsoft Excel. Vzhledem k nutnosti generovat pro výpočet *binomické stromy*, pro které roste počet existujících průchodů (cest) stromem s druhou mocninou, bylo možné tento nástroj bez problémů použít jen pro stromy s maximální hloubkou pěti úrovní.

Druhou možností, která umožnila ověřit výstupy i pro více úrovní, bylo vytvoření nových nástrojů. Pro tyto účely byly, pod vedením autora disertační práce, v diplomových pracích Martina Mastného [93] a Václava Trnky [118] implementované a ověřené dva samostatné nástroje. Společným problémem, který bylo nutné při návrhu a tvorbě nástrojů vyřešit, byla skutečnost, že výpočet vychází z celé historie *binomického stromu*, protože vnitřní hodnoty uzlů VH_i reflektují všechny cesty od kořene stromu do uzlu a jejich váhy. Principiálně bylo nutné přistoupit k výpočtu stejně, jako v případě exotických opcí (opcí s pamětí), popsaných v kapitole 6.1.9.

Naivní přístup, implementovaný v prvních verzích nástrojů, aplikoval samostatný průchod všemi cestami a jejich následnou kombinaci, což znamenalo $2 \cdot (2^N - 1)$ průchodů, kde hodnota N reprezentuje hloubku stromu. Pro větší hloubky stromů byly doby výpočtu a paměťové nároky aplikací neúměrně vysoké. Analýzou možných průchodů stromem, spojených s výpočtem vnitřní hodnoty uzlů bylo zjištěno, že při vhodně zvolené datové reprezentaci hodnot uzlů, lze výslednou hodnotu spočítat jen v rámci dvou průchodů. Dopředněm, kdy se stanoví vnitřní hodnoty uzlů VH_i a zpětněm, kdy se spočítá celková hodnota *flexibility*. Zjednodušeně takovou strukturu ukazuje Obrázek 53.



Obrázek 53. Zjednodušená datová reprezentace uzlu binomického stromu [zdroj: vlastní].

Pro průchod stromem jsou důležité informace o předchozích a následných uzlech, na které je vybraný uzel napojený (plné šipky). V rámci implementace nástrojů se osvědčilo také zavedení pomocných vazeb (tečkované šipky), které zjednodušují průchod ve stejné úrovni *binomického stromu*. Z hlediska hodnot, které je nutné v uzlu ukládat (pamatovat si) pro výsledný výpočet, jsou důležité podle varianty buď součty nákladů ΣA_i a ΣH_i nebo jejich rozdílů, které reprezentují uložené hodnoty nákladů za jednotlivé cesty do uzlu. Ty se tvoří tak, že se vezmou hodnoty z předchozího nižšího

a vyšší uzlu a k nim se přidají hodnoty A_i a H_i (nebo jejich rozdíly) z úrovně aktuálního uzlu.

Pro uzly v pozitivní úrovni je navíc důležité kontrolovat, zda jde o první příchod do vyšší úrovně nebo byla daná úroveň v historii již navštívená. To se řeší formou příznaku nového pořízení, který udržuje přehled o dosud navštívených úrovních. Pokud úroveň dosud nebyla navštívena, přidá se v daném uzlu příznak navštívení aktuální úrovně. S příznakem souvisí poslední informace, kterou je nutné si v uzlu pro výpočet výsledné hodnoty pamatovat. Jedná se o hodnotu korekce neefektivity *on-premise infrastruktury* pro případ, že došlo k nastavení příznaku nového pořízení.

Ostatní informace, jako je například hodnota pravděpodobnosti dosažení uzlu a z ní spočítané váhy vstupních hodnot uzlu, není nutné ukládat, protože se dají odvodit z pozice uzlu v *binomickém stromu*. Ověření správné funkčnosti nových nástrojů bylo provedeno na základě výpočtů jednodušších stromů, vygenerovaných pro testovací úkoly v programu Excel. Další detaily implementace obsahují zmiňované diplomové práce.

12 Ověření navržených variant metody výpočtu flexibility

Obě navržené metody, bez započtení (viz kapitola 11.2.3) a se započtením (viz kapitola 11.2.4) počáteční investice, byly ověřeny prostřednictvím výpočtů na vybraných scénářích, reflektujících typické reálné situace. Cílem ověření aplikace metody na definovaná vstupní data bylo provést výpočet finanční hodnoty *flexibility* a její správnost potvrdit na základě předpokladu, že použití *Cloud Computingu* je díky *flexibilitě* finančně výhodnější, než využití *on-premise infrastruktury*. Důležitější, než absolutní velikost vypočtených hodnot, bylo srovnání s hodnotou nula. Výsledné hodnoty, větší než nula, jsou potvrzením předpokladu vyšší *flexibilitu Cloud Computingu*. Dopady změn vybraných vstupních parametrů na výslednou vypočtenou hodnotu by měly reflektovat chování *opcí*, na základě kterých je metoda navržená. Z tohoto důvodu byl výchozí strom budoucího vývoje toků S vygenerovaný zjednodušeně, na základě diplomových prací, uvedených v kapitole 8. Konverze nákladů, dle popisu v kapitole 11.4.2, byla provedena formou kvalifikovaného odhadu odpovídajících nákladů *on-premise infrastruktury* A_i , přepočítaných na odpovídající hodnoty anuit A_i , a odhadu poplatků H_i za *Cloud Computing*.

12.1 Definice scénářů ověření

Pro účely ověření byly definovány čtyři různé scénáře, které z pohledu autora disertační práce pokrývají reálné situace, pro které má smysl metody použít. Nejprve byla ověřena varianta bez započtení počáteční investice, pro kterou byl vytvořený i samostatný pátý scénář, ověřující započtení korekce životnosti výpočetního výkonu *on-premise infrastruktury* (viz kapitola 12.2.5). Následně byly scénáře, s drobnou modifikací vstupních dat, vycházející z charakteru varianty a zkušeností z předchozích testů²⁶, vyhodnoceny pomocí druhé varianty metody. Scénář se započtením korekce životnosti již nebyl, na základě ověření první varianty, samostatně aplikovaný, protože se potvrdil předpoklad z kapitoly 11.3, že se korekce netýká *flexibility*, ale *neefektivity* a započtení výrazně ovlivňuje výslednou hodnotu. Celkové potenciální ztráty z nevyužité výpočetní kapacity, způsobené životností, byly pro všechny scénáře a přehlednost vyčísleny jako samostatné položky. Definované scénáře lze charakterizovat následovně:

- První scénář hodnotí **vliv změny hodnoty vstupního parametru *volatility***. Tento parametr, jak ukazuje Tabulka 2, v případě růstu zvyšuje hodnotu *kupní opce* a snižuje hodnotu *prodejní opce*. V případě poklesu hodnoty má opačný vliv. Navržené varianty jsou kombinací obou typů *opcí*. Kombinují možný odprodej (pokles poptávky) a pořízení nové (nárůst poptávky) kapacity. Protože jsou založeny na rozdílech nákladů, dominantní by v tomto případě měla být především část, zaměřená na možný odprodej nevyužité kapacity. Důvodem je skutečnost, že čím vyšší je *volatilita*, tím k větším změnám v nákladech dochází a řešení s vyšší *flexibilitou* musí být z důvodů možnosti snížení nákladů výhodnější. Výstupem by tedy měly být pro rostoucí *volatilitu* rostoucí výstupní hodnoty *flexibility* u obou variant metody.

²⁶ Jiná vstupní data byla částečně dána také jiným přístupem k náhledu na problematiku v diplomových pracích, vycházející z diskusí se studenty, zpracovávajícími práce.

V realitě může být tento scénář použitý pro srovnání vlivů různých prostředí v případě, kdy potřebujeme nastavit *byznys strategii* tak, aby se byla organizace schopna na trhu udržet dlouhodobě a být odolná vůči různým stavům okolí.

- Druhý scénář hodnotí **vliv různé délky projektu a počtu období**, na které je délka životnosti projektu rozdělena. Délka jednoho období odpovídá jednomu měsíci (viz kapitola 9), celková délka životnosti projektu je rovna násobku počtu měsíců. Vliv délky období na hodnotu *opce*, je obdobný jako v předchozím scénáři. Výstupní hodnoty navržených variant by se měly chovat stejně. Při testech ověřování scénáře se ale ukázalo, že velkou roli při výpočtu hraje, jakým způsobem jsou z celkových nákladů A spočítány hodnoty anuity A_i . Jestli podle délky životnosti projektu nebo podle životnosti pořizovaného výpočetního výkonu. V prvním případě platí, že když se bude délka životnosti komponent vždy rovnat délce životnosti projektu, bude při kratší délce a snižujícím se počtu období hodnota anuity A_i růst, což zvýší vynaložené náklady na začátku projektu a ovlivní výsledné vypočtené hodnoty *flexibility*.

Proto byly testy pro každou variantu provedeny jiným způsobem. Pro metodu bez započítání počáteční investice se hodnoty anuit A_i odvozovaly z délky životnosti projektu. Pro metodu se započítáním počáteční investice byla hodnota anuity A_i pro všechny testy stejná, protože se počítala z jednotné délky životnosti výpočetního výkonu a stejného počtu období, na která byla tato životnost rozdělena. V rámci výpočtu hodnoty *flexibility* se pak použil jen takový počet anuitních splátek A_i , který odpovídal spotřebovanému výpočetnímu výkonu během životnosti projektu. Tento způsob více odpovídá realitě, a proto by se měl používat i při dalších testech používat.

Popsané způsoby vyčíslení a použití anuitních splátek A_i by se měly projevit ve vlivu změny délky projektu a počtu období na výslednou hodnotu *flexibility*. U metody bez započítání počáteční investice by se, na rozdíl od obecného vlivu na hodnotu *opce*, výsledná hodnota měla snižovat. Důvodem je skutečnost, že při zvyšování počtu období a zachování stejných požadavků na výpočetní výkon, se snižuje hodnota anuitních splátek A_i , která při poklesu požadavků snižuje ztráty z nevyužitého výkonu mezi úrovněmi *binomického stromu*. Při testech, využívajících stejnou hodnotu anuity A_i , by chování výsledné hodnoty *flexibility* mělo odpovídat chování hodnoty *opce*.

Vy výsledné hodnotě se opět projevuje dominance prodejní části metody. Role kupní složky může růst, protože v případě *Cloud Computingu* se dá při menším počtu období očekávat pořízení nižší a tím pádem i méně nákladné výpočetní kapacity. Z praktického pohledu se jedná o scénář, kdy se hodnotí různé úrovně (ne)úspěšnosti organizace na trhu z pohledu času. Organizace si může propočítat scénář neočekávaně rychlého úspěchu na trhu, dlouhodobou stagnaci nebo naplánovat dlouhodobé fungování na základě porovnání výnosů a nákladů na definované období. Scénář je možné aplikovat také ve formě zřetězení několika *opcí* tak, že se nejprve najde vhodná krátká varianta, která reprezentuje rychlý růst, a na ni se naváže období dlouhodobé stability. Princip odpovídá zřetězení *opcí*, které demonstruje Obrázek 49.

- Náplní třetího scénáře je ověření **vlivu nepravidelného navyšování výpočetního výkonu**. Tento scénář vychází především z chybného plánování *on-premise infrastruktury*, se kterým se lze v praxi díky složitosti odhadu optimálního výpočet-

ního výkonu (viz kapitola 11.4.2), běžně setkat. Zvláště u nově vznikajících a nezkušených organizací je na počátku pořízený zbytečně naddimenzovaný nebo poddimenzovaný výpočetní výkon, výrazně ovlivňující velikost nákladů. Stejně tak jsou do scénáře zahrnuty fyzické možnosti nově pořizovaných komponent, které nelze pořizovat v libovolné konfiguraci a nutnost navyšování režie.

Ověřeny byly dvě varianty scénáře. V rámci první varianty je na počátku pořízený naddimenzovaný výpočetní výkon a přikupování není realizováno v rámci každé změny požadavků, ale až po několika úrovních. V rámci druhé je na počátku pořízený poddimenzovaný výpočetní výkon a při prvním navýšení požadavků se porizuje výpočetní výkon výkonnější. Následné přikupování probíhá obdobně, jako v první variantě scénáře, tedy až po několika nárůstech požadavků. Snižování počtu nutných nákupů by se v tomto případě mělo projevit tak, že pro nižší počet nákupů budou výstupní hodnoty metody bez započtení prvotní investice klesat. Je to dáno skutečností, že roste hodnota nezapočítané prvotní investice a využití pořízeného výpočetního výkonu *on-premise infrastruktury* se jeví být efektivnější. V tomto případě by se měl zvýšit vliv nákupní složky rozdílu v nákladech na pořízení. U metody se započtením prvotní investice by hodnoty měly naopak růst. Pro druhou variantu scénáře by měly být výsledky obou metod obdobné. Vzhledem k tomu, že při přechodu do první pozitivní úrovně stromu dochází k významnému navýšení výpočetního výkonu a tím pádem i nákladů, dá se s ohledem na váhy a počty cest do uzlů v této úrovni očekávat, že výstupní hodnoty budou vyšší než v první variantě scénáře a budou růst. Ve variantě by měl růst vliv prodejní složky, tedy neefektivit využití *on-premise infrastruktury*.

- Poslední společný, čtvrtý scénář, ověřuje **vliv vyšších hodnot nákladů za *Cloud Computing*** vůči nákladům za *on-premise infrastrukturu*. Přestože se obvykle uvádí, že náklady *Cloud Computingu* jsou výrazně nižší než v případě *on-premise infrastruktury*, nemusí tomu tak být vždy. Zvláště, když organizace novou službu integruje do již stávající infrastruktury a nemusí vynakládat tak vysoké počáteční náklady, jako kdyby celou infrastrukturu budovala od začátku (viz kapitola 11.4.1). Z pohledu samotných variant metody je tento scénář typicky *opční*, protože znamená, že investujeme více do *flexibility*, která ve svém důsledku přináší celkově nižší náklady. Výstupní hodnoty jsou ovlivněny velikostí nákladů a jejich změn. Dá se očekávat, že přestože *Cloud Computing* obnáší vyšší náklady, finanční hodnota *flexibility* tento hendikep srovná a výstupní hodnoty metod budou vyšší než nula. Roli ve výpočtu by měla hrát jak kupní, tak prodejní složka.
- Pátý scénář, ověřený samostatně jen v případě metody bez započtení prvotní investice, byl zaměřený na **vliv korekce započtení životnosti *on-premise infrastruktury***. Scénář byl realizovaný jako doplněk vybraných předchozích čtyř scénářů, kdy se do výpočtu hodnoty flexibility zahrnula korekce ve formě započítání nevyužitého výpočetního výkonu. Očekávaným dopadem na výstupní hodnotu *flexibility* je navýšení výstupních hodnot u obou metod. V praxi by s velkou pravděpodobností tento scénář ale nikdy nenastal, protože by se realizovala některá z možností, popsaných v kapitole 11.3.

Výsledky konkrétně provedených testů pro popsané scénáře jsou ve formě tabulek a vysvětlujících komentářů shrnuty v následujících kapitolách. Detailní informace, včetně konkrétních výstupů, lze najít v pracích [93] a [118].

Shrnující tabulky obsahují následující položky:

- První sloupec popisuje vstupní parametry, které se v rámci scénářů lišily, nebo byl ověřován dopad jejich změn.
- Ostatní sloupce obsahují konkrétní vstupní hodnoty parametrů, použitých pro jednotlivé provedené testy.
- Dolní řádky, oddělené silnou čarou, obsahují výsledné vypočítané výstupní hodnoty *flexibility* pro vstupní hodnoty parametrů ze stejného sloupce tabulky.

Z pohledu použitých hodnot vstupních parametrů a vypočítaných výstupních hodnot *flexibility* platí:

- Doba životnosti projektu \mathbf{T} je udána v počtu měsíců trvání projektu. Mimo druhého scénáře je rovna 24 měsícům, tedy dvěma rokům.
- Parametr \mathbf{n} udává, na kolik období je doba životnosti \mathbf{T} rozdělena. Vzhledem k tomu, že délka období je vždy jeden měsíc, platí rovnice $\mathbf{T}/\mathbf{n} = 1$ měsíc.
- Pro bezrizikovou úrokovou míru byla zvolena hodnota $\mathbf{r} = 0,008$ [119].
- Hodnoty ostatních vstupních parametrů jsou uvedeny přímo v kapitolách s popisem výsledků experimentů.
- Parametr „Průběžná anuita“ reprezentuje hodnotu pravidelného navyšování výpočetního výkonu \mathbf{A}_i *on-premise infrastruktury* formou drobných změn infrastruktury, kterými je například rozšíření paměti, instalace nových disků nebo procesoru. Parametr „Navýšená anuita“ reprezentuje vyšší investici \mathbf{A}_i do *on-premise infrastruktury*, která reprezentuje i navýšení podpůrných částí infrastruktury (režie), bez kterých by nebylo možné výpočetní výkon navyšovat. Například pořízení nového síťového přepínače, serveru nebo diskového pole.
- Parametr „Poplatky za Cloud Computing“ reprezentuje pravidelné měsíční platby \mathbf{H}_i za spotřebovaný výpočetní výkon *Cloud Computingu*.
- U hodnot anuit, poplatků za *Cloud Computing* a parametrů, obecně udávaných v měnách, není pro jednoduchost a přehlednost měna v tabulce uváděna. V komentářích se místo konkrétní měny (v případě této práce koruny české) používá obecně srozumitelný pojem „jednotka“. Výstupní hodnoty reprezentují počet „jednotek“, které reprezentují *flexibilitu Cloud Computingu*. Výsledné hodnoty jsou zaokrouhlené na celá čísla.

12.2 Ověření metody bez počáteční investice

Jako první byla ověřena metoda, nezahrnující počáteční investici v nulté úrovni *binomického stromu*. Výchozím bodem byla očekávaná hodnota budoucích toků $\mathbf{S} = 8000$ jednotek. Pro tuto hodnotu byl pomocí vstupních parametrů jednotlivých scénářů vytvořený *binomický strom* vývoje budoucích toků \mathbf{S} na období životnosti projektu \mathbf{T} . Pomocí kvalifikovaného odhadu a využitím existujících konfigurátorů (viz kapitola 11.4.2), byly odvozeny hodnoty nákladů \mathbf{A} a pravidelných plateb \mathbf{H}_i . Vždy byly vybírány minimální konfigurace, které dostatečně pokryjí požadovaný výkon. Životnost všech komponent výpočetního výkonu *on-premise infrastruktury*, se předpokládala stejná, ve výši délky životnosti projektu \mathbf{T} . Tato hodnota byla použita pro výpočet hodnot anuit \mathbf{A}_i dle vzorce (30).

12.2.1 Scénář 1 – změna volatility

Cílem scénáře bylo ověřit, že s rostoucí volatilitou roste i vypočtená výstupní hodnota *flexibility*. Jak ukazuje Tabulka 10, očekávání bylo potvrzené. Čím vyšší jsou nejistoty (rizika) prostředí, tím větší finanční hodnotu *flexibility Cloud Computingu* přináší.

Tabulka 10. Hodnoty pro změnu volatility bez počáteční investice [zdroj: [118]].

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
T (měsíce)	24					
n (počet období)	24					
r	0,008					
σ	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1
Průběžná anuita	470					
Navýšená anuita	1412					
Poplatky za Cloud Computing	450					
Výstupní hodnoty	220	223	246	264	285	307

Hodnota H_i byla zvolena ve výši 470 jednotek. Aby byla v podobné výši i hodnota průběžné anuity A_i a výkon *on-premise infrastruktury* odpovídal *Cloud Computingu*, byla hodnota nastavena na 450 jednotek, což odpovídá celkové investici 10000 jednotek. Po každých devíti menších navýšeních výpočetního výkonu *on-premise infrastruktury* byla provedena větší investice, zahrnující navýšení podpůrných částí infrastruktury. Od každé desáté hodnoty anuity A_i byl připočítáván násobek (pořadí navýšení podpůrných částí) hodnoty 1412 jednotek což představuje celkové náklady ve výši 30000 jednotek.

12.2.2 Scénář 2 – různé délky projektu a počty období

Cílem scénáře bylo ověřit, že s rostoucí délkou životnosti a vyšším počtem období, na která je rozdělena, vypočtená výstupní hodnota *flexibility* klesá. Jak ukazuje Tabulka 11, očekávání bylo potvrzené. Čím delší je životnost prostředí, tím nižší hodnotu *flexibilita Cloud Computingu* přináší, protože navyšování výkonu *on-premise infrastruktury* je rozděleno do delšího období a je možné průběžně vynakládat nižší náklady.

Hodnota volatility σ byla úmyslně zvolena vysoká, aby se výrazněji projevila *flexibilita* a také proto, že oblast nových IT služeb, kde se tato disertační práce pohybuje, spadá do oblasti rizikových investic. Hodnota H_i byla zvolena opět ve výši 450 jednotek. Výše průběžné anuity A_i za *on-premise infrastrukturu* byla pro každou délku životnosti jiná (viz kapitola 12.1) a počítala se dle vzorce (30), stejně jako v minulém scénáři, z celkové investice ve výši 10000 jednotek. Opět se předpokládalo, že po každých devíti menších navýšeních výpočetního výkonu *on-premise infrastruktury* bude nutné z důvodů navýšení podpůrných částí infrastruktury provést větší investici. U testů, v rámci kterých se počítalo s délkou životnosti větší než deset období, jsou proto hodnoty A_i navýšeny o násobky nákladů z celkových nákladů ve výši 30000 jednotek dle vzorce (30).

Tabulka 11. Hodnoty pro změnu délky projektu bez počáteční investice [zdroj: [118]].

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
T (měsíce)	3	6	9	12	18	24
n (počet období)	3	6	9	12	18	24
r	0,008					
σ	0,7					
Průběžná anuita	3400	1725	1167	888	609	470
Navýšená anuita	-	-	-	2665	1829	1412
Poplatky za Cloud Computing	450					
Výstupní hodnoty	960	520	385	328	277	264

12.2.3 Scénář 3 – nepravidelné navyšování výkonu

Cílem scénáře bylo ověřit vliv změn způsobů navyšování výpočetního výkonu *on-premise infrastruktury*. Změny navyšování v tomto případě znamenají, že navyšování neprobíhá při každém zvýšení požadavků, ale až po několika („opožděné“ navyšování). Definovány byly dvě varianty. První varianta předpokládala, že se v rámci počáteční investice pořídí předdimenzovaný výkon a navyšování začne později. Druhá, že se na počátku pořídil poddimenzovaný výkon a první navýšení proběhne ihned při prvním navýšení požadavků. Pro první variantu bylo očekáváno, že při prodlužování intervalu plateb budou výstupní hodnoty klesat, pro druhou variantu naopak stoupat. Jak ukazuje Tabulka 12, očekávání byla potvrzená.

Tabulka 12. Hodnoty pro změnu plateb bez počáteční investice [zdroj: [118]].

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
T (měsíce)	24					
n (počet období)	24					
r	0,008					
σ	0,7					
Průběžná anuita	470	940	1410	1880	2350	2820
Navýšená anuita	1412	2824	2824	2824	2824	2824
Poplatky za Cloud Computing	450					
Interval navyšování výpočetního výkonu	1	2	3	4	5	6
Výstupní hodnoty (varianta 1)	264	241	232	226	222	218
Výstupní hodnoty (varianta 2)	264	320	463	570	715	860

Výstupy první varianty také potvrdily předpoklad, že *flexibilitu* lze ve variantě bez započítání prvotní investice ovlivnit výší této investice, což je možné považovat za slabou stránku navržené varianty metody výpočtu. Výstupy druhé zase potvrzují výhodnost vyšší *flexibility Cloud Computingu*, protože finanční dopady prvotního chybného odhadu jsou nižší, než v případě *on-premise infrastruktury*.

Hodnoty *volatility* a H_i byly zvoleny stejně, jako ve druhém scénáři. Nově byl zavedený vstupní parametr „Interval navyšování výpočetního výkonu“, který vyjadřuje počet úrovní, po kterých se navyšuje výpočetní výkon *on-premise infrastruktury*. Hodnota „1“ znamená, že se navyšuje při každém zvýšení úrovně, hodnota „2“, že navyšuje při každém druhém zvýšení a tak dále. Výše průběžných nákladů A_i za *on-premise infrastrukturu* pro navyšování při každém zvýšení úrovně byla spočítána dle vzorce (30), stejně jako v prvním scénáři. Pro vyšší hodnotu parametru „Interval navyšování výpočetního výkonu“ byly hodnoty A_i spočítány jako násobky hodnoty navyšování v každé úrovni, protože se nakupovalo na více období dopředu. S větší investicí se počítalo v okamžiku překročení schopnosti infrastruktury rozšiřovat výpočetní výkon. Vycházelo se ze stejných předpokladů, jako v prvním scénáři, kdy byla větší investice prováděna po každém devátém průběžném navýšení. V případě „opožděného“ navyšování výpočetního výkonu byla hodnota většího navýšení opět spočítána jako násobek hodnoty větší investice při pravidelném průběžném navyšování. Vzhledem k délce životnosti projektu 24 měsíců se pro všechna „opožděná“ navýšení použila stejná, dvojnásobná hodnota.

12.2.4 Scénář 4 – navýšení nákladů Cloud Computingu

Cílem scénáře bylo ověřit předpoklad, že *flexibilita Cloud Computingu* dokáže i v případě, kdy jsou náklady za *Cloud Computing* vyšší než za *on-premise infrastrukturu*, přinést hodnotu, která nevýhodnost vyšších nákladů kompenzuje. Zvláště v prostředí s vysokou *volatilitou*. Jak ukazuje Tabulka 13, **předpoklad byl potvrzený**.

Tabulka 13. Hodnoty změn Cloud Computingu bez počáteční investice [zdroj: [118]].

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
T (měsíce)	24					
n (počet období)	24					
r	0,008					
σ	0,7					
Průběžná anuita	225	370	470	470	470	470
Navýšená anuita	706	1312	1412	1412	1412	1412
Poplatky za Cloud Computing	450	450	450	600	700	3000
Výstupní hodnoty	229	249	264	329	372	1347

Výpočty ukázaly, že při vyšších nákladech *Cloud Computingu* jeho *flexibilita* přináší finanční hodnotu, která vyšší náklady kompenzuje. Na první pohled překvapivě může vypadat výsledek posledního, šestého testu, kdy je výsledná hodnota velmi vysoká i přesto, že náklady na *Cloud Computing* jsou výrazně vyšší, než v případě *on-premise*

infrastruktury. Jedná se o důsledek *flexibility Cloud Computingu*. Jestliže se při průchodu *binomickým stromem* v některém okamžiku výrazně navýší hodnota nákladů, musí v následném snížení dojít k výraznému snížení. V tomto případě se začínají významně projevat hodnoty z negativních úrovní *binomického stromu*. To jen potvrzuje obecný předpoklad, že by se vždy mělo srovnávat srovnatelné. Jestliže třetí scénář poukázal na výhodnost předdimenzované *on-premise infrastruktury*, tento scénář zase ukazuje na výhodnost naddimenzované kapacity *Cloud Computingu* a poukazuje na druhou slabinu navržené varianty výpočtu.

Většina vstupních parametrů byla nastavena stejně, jako v předchozích scénářích. Odlišnosti byly jen v průběžných poplatcích A_i a H_i . Poplatky za *on-premise infrastrukturu* byly odvozeny z prvního scénáře. Pro první dva testy byly poníženy tak, aby byly nižší než za *Cloud Computing*. V ostatních zůstaly stejné jako v prvním scénáři. Hodnota H_i byla pro první tři testy stejná jako v prvním scénáři, pro ostatní testy byla navyšována nad hodnotu A_i . Pro poslední, šestý test byl zvolen výrazně vyšší rozdíl hodnot. Mimo třetího testu je tedy hodnota H_i vždy vyšší než hodnota A_i .

12.2.5 Scénář 5 – korekce životnosti on-premise infrastruktury

Posledním scénářem, který byl realizovaný jen pro metodu bez započítání počáteční investice, bylo ověření vlivu započítání korekce životnosti *on-premise infrastruktury*. **Dopadem korekce by vždy mělo být navýšení vypočtených výstupních hodnot flexibility.** Jak ukazuje Tabulka 14, **očekávání bylo potvrzené.**

Tabulka 14. Hodnoty pro započítanou korekci při nezapočítané počáteční investici [zdroj: [118]].

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Modifikace scénáře (scénář.test)	1.2	2.4	3.1.2	3.1.4	3.2.3	4.4
T (měsíce)	24	12	24	24	24	24
n (počet)	24	12	24	24	24	24
r	0,008					
σ	0,3	0,7				
Průběžná anuita	225	370	470	470	470	470
Navýšená anuita	706	1312	1412	1412	1412	1412
Poplatky za Cloud Computing	450	450	450	600	700	3000
Výstupní hodnoty před korekcí	223	328	241	226	463	329
Výstupní hodnoty po korekci	282	498	342	329	747	345
Neefektivita on-premise výkonu	59	170	101	103	284	16
Rozdíl hodnot (%)	26%	52%	42%	46%	61%	5%

Obecně platí, že čím vyšší neefektivita (délka nevyužívaného výpočetního výkonu) je, tím větší vliv má korekce na vnitřní hodnotu uzlu VH_i , protože převyšuje rozdíly v nákladech A_i a H_i . Tím dochází k degradaci nejen vypočtené výsledné hodnoty, ale také

jejího vnímání. S vyššími hodnotami korekce začíná ve výsledné vypočtené hodnotě převažovat složka *neefektivita* nad *flexibilitou*.

Testování bylo provedeno formou započítání korekcí do vybraných předchozích testů, aby se potvrdilo, že typ scénáře nemá na výslednou vypočtenou hodnotu vliv. Testy identifikují hodnoty ve druhém řádku tabulky, kde je ve formátu „scénář.test“ uveden odkaz na původní test. Údaj „1.2“ znamená první scénář, druhý test. Údaj „3.1.2“ znamená třetí scénář, první varianta, druhý test. Pro srovnání jsou uvedeny také výstupní hodnoty bez započítání korekce a vyčíslen rozdíl výstupních hodnot.

12.3 Ověření metody s počáteční investicí

Od započítání počáteční investice se očekávalo snížení jejího vlivu na výslednou hodnotu *flexibility*. Prvním krokem ověření bylo vyčíslení této hodnoty. Výchozím bodem byl předpoklad, že prvotní investice je vyšší než průběžná. Její celková výše byla odhadnutá na 240000 jednotek. Při dodržení délky projektu 24 měsíců, vyšla hodnota investičních nákladů A_0 rovna hodnotě 10083 jednotek. Průběžné navýšování výpočetního výkonu A_i *on-premise infrastruktury* bylo nastaveno na 483 jednotek, což odpovídá celkové částce 11500 jednotek. Navýšení pro větší investici do *on-premise infrastruktury* bylo stanoveno na celkovou hodnotu 21500 jednotek, čemuž odpovídá hodnota A_i ve výši 903 jednotek. Poplatky za *Cloud Computing* v nulté úrovni H_0 byly nastaveny na hodnotu 10000 jednotek. Rozdíl hodnot nákladů dvou sousedních úrovní byl nastavený na 400 jednotek.

Na rozdíl od předchozí varianty metody nebyl testován scénář se započtením korekce životnosti. *Neefektivita* byla vyčíslená samostatně a v tabulce výsledků je uvedena v řádku, označeném „Neefektivita on-premise výkonu“. S ohledem na obdobné provedení testů jako u první variant, je míra detailu popisu omezena na nezbytné minimum.

12.3.1 Scénář 1 – změna volatility

Očekávání, že s rostoucí volatilitou poroste hodnota *flexibility*, bylo, jak ukazuje Tabulka 15, potvrzené.

Tabulka 15. Hodnoty pro změnu volatility se započítanou počáteční investicí [zdroj: [93]].

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
T (měsíce)	24					
n (počet období)	24					
r	0,008					
σ	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1
Průběžná anuita	483					
Navýšená anuita	903					
Poplatky za Cloud Computing	400					
Výstupní hodnoty	209	222	232	243	256	272
Neefektivita on-premise výkonu	1 415	1 132	957	812	688	582

Neefektivita nevyužitého výpočetního výkonu naopak s rostoucí volatilitou klesá. V tomto případě hrály významnou roli hodnoty pravděpodobností **p** a **d**. Se zvyšující se volatilitou narůstala hodnota pravděpodobnosti poklesu **d**. Jelikož nejvíce do *neefektivity* přispívají hodnoty z pozitivních úrovní *binomického stromu*, kde převažují v hodnotách vah uzlů hodnoty **p**, projevuje se vzrůstající *volatilita* snižováním hodnot vah a ve výsledku to způsobuje nižší výslednou hodnotou *neefektivity*.

12.3.2 Scénář 2 – různé délky projektu a počty období

Cílem scénáře bylo, na rozdíl od metody bez započtení počáteční investice, ověřit, že s rostoucí délkou životnosti a vyšším počtem období, na které je rozdělena, **roste i vypočtená výstupní hodnota**. Jak ukazuje Tabulka 16, **očekávání bylo potvrzené**.

Tabulka 16. Hodnoty pro změnu délky projektu se započítanou počáteční investicí [zdroj: [93]].

	1.	2.	3.	4.	5.
T (měsíce)	3	6	12	18	24
n (počet období)	3	6	12	18	24
r	0,0008				
σ	0,7				
Průběžná anuita	483				
Navýšená anuita	903				
Poplatky za Cloud Computing	400				
Výstupní hodnoty	206	221	233	239	243
Neefektivita on-premise výkonu	18302	16075	11 234	6 111	812

Čím delší je doba projektu, tím více se projeví *volatilita* a s ní spojená hodnota *flexibility* Cloud Computingu. Hodnota neefektivity se chová přesně obráceně, protože s rostoucí délkou životnosti projektu roste i počet období, v rámci kterých jsou vynaloženy (spotřebovány) náklady A_i na pokrytí požadavků projektu. To způsobuje znatelný hodnotový skok mezi délkou projektu 3 měsíce a 24 měsíců.

12.3.3 Scénář 3 – nepravidelné navýšování výkonu

U obou variant scénáře bylo očekáváno, že při „**opožděném**“ navýšování výpočetního výkonu, realizovaném ne při každém požadavku na navýšení, ale až při zvýšení přes více úrovní, bude růst i vypočtená hodnota *flexibility*. Jak ukazuje Tabulka 17, **očekávání byla potvrzená**.

Výrazný rozdíl ve výstupních hodnotách pro první a druhou variantu je způsobený vyšší vynaložených nákladů v nulté úrovni A_0 . V první variantě se vynakládají vyšší počáteční náklady (naddimenzovaný výpočetní výkon) a s ohledem na zjištění, spojená s vlivem pravděpodobnosti **d** z prvního scénáře, se tato hodnota výrazně promítá do negativních úrovní *binomického stromu*. Tím se následně ovlivní také výsledná vypočtená

hodnota *flexibility*. Pro každou variantu je v tabulce uvedený samostatný řádek, obsahující počáteční hodnoty A_0 . Důvodem je skutečnost, že v případě první varianty se s ohledem na různé budoucí požadavky navýšení výpočetního výkonu, způsobené „opožděným“ navyšováním, musí navrhovat jiná počáteční konfigurace. To se odráží v různých hodnotách A_0 . U druhé varianty je to jednodušší, protože byl na počátku pořízený poddimenzovaný výpočetní výkon a problematika různého budoucího navyšování je reflektována až v prvním navýšení výpočetního výkonu, v první úrovni *binomického stromu*.

Tabulka 17. Hodnoty pro změnu plateb se započítanou počáteční investicí [zdroj: [93]].

	1.	2.	3.	4.	5.
T (měsíce)				24	
n (počet období)				24	
r				0,008	
σ				0,7	
Počáteční anuita A_0 (varianta 1)	10083	11050	11533	12016	12499
Počáteční anuita A_0 (varianta 2)				10083	
Průběžná anuita	483	966	1449	1933	2416
Navýšená anuita	903	1386	1870	2353	2836
Poplatky za Cloud Computing				400	
Interval navyšování výpočetního výkonu	1	2	3	4	5
Výstupní hodnoty (varianta 1)	243	1050	1533	2016	2499
Neefektivita on-premise výkonu (varianta 1)	812	620	555	457	446
Výstupní hodnoty (varianta 2)	243	297	436	580	725
Neefektivita on-premise výkonu (varianta 2)	812	831	871	878	973

Výstupní hodnoty neefektivit se pro každý variantu scénáře chovají jinak. V rámci první varianty s rostoucím počtem odložení navýšení kapacity hodnoty *neefektivit* klesají. V rámci druhé varianty se hodnoty *neefektivit* chovají obráceně. Pokles hodnot je způsobený, stejně jako u hodnoty *flexibility*, vlivem pravděpodobnosti d a velikostí nákladů A_0 . Nárůst hodnot naopak způsobuje vynaložení vyšších nákladů A_1 při prvním navýšení výkonu, které se díky vysoké hodnotě vah uzlů v této úrovni promítá do výsledné hodnoty *flexibility*.

12.3.4 Scénář 4 – navýšení nákladů Cloud Computingu

Posledním testovaným scénářem bylo ověření předpokladu, že *flexibilita Cloud Computingu* dokáže přinést hodnotu i v případě, kdy jsou náklady vyšší než u *on-premise infrastruktury*. Zvláště v prostředí s vysokou *volatilitou*. Jak ukazuje Tabulka 18, **předpoklad byl potvrzený**.

Tabulka 18. Hodnoty změn Cloud Computingu se započítanou počáteční investicí [zdroj: [93]].

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
T (měsíce)	24						
n (počet období)	24						
r	0,008						
σ	0,7						
Průběžná anuita	338	387	435	483			
Navýšená anuita	632	723	813	903			
Poplatky za Cloud Computing	400			440	480	520	
Výstupní hodnoty	215	219	225	233	247	262	278
Neefektivita on-premise výkonu	568	650	731	812			

Výsledky potvrdily stejné závěry, jaké byly z pohledu čtvrtého scénáře vyvozeny i při testech první varianty metody výpočtu (viz kapitola 12.2.4), včetně nutnosti srovnávat srovnatelné. Z pohledu *neefektivita* nepřinesly výsledky nic neočekávané. Pro sníženou výši nákladů je nižší i hodnota *neefektivita*.

12.4 Vyhodnocení ověření navržených metod hodnocení flexibility

Výsledky provedených testů nad různými scénáři potvrdily, že navržené metody jsou schopny hodnotu *flexibility Cloud Computingu* ohodnotit a spočítat. Všechny definované předpoklady a stanovená očekávání, týkající se závislosti výstupních hodnot na vstupních parametrech byly u všech scénářů potvrzeny. Na základě závěrů ověření lze odpovědět na třetí, poslední výzkumnou otázku: „Je možné nalezenou přidanou hodnotu metody z celkové vypočtené hodnoty Reálné opce získat a použít pro rozhodování o investici?“ Odpověď zní: „Ano, přidanou hodnotu, kterou představuje flexibilita Cloud Computingu, pomocí metody Reálných opcí finančně ocenit lze. Vypočtenou hodnotu je možné použít jako další z kritérií nebo jako samostatné kritérium při výběru typu IT infrastruktury.“

Jak ale ukázaly provedené testy, obě varianty metody mají i svá slabá místa a pro reálnější použití je třeba se jimi ještě zabývat v navazujícím výzkumu. Jednou z možností je kombinace obou metod do jedné metody, která využije počáteční investici tam,

kde je její započtení nutné a naopak ji nezapočítávat tam, kde zkresluje výslednou hodnotu. Poznatky z provedených testů, které je možné využít při navazujícím výzkumu lze shrnout do následujících závěrů:

1. Obě varianty metody při výpočtech vracely výstupní hodnotu větší než nula, což potvrzuje obecný předpoklad, že *flexibilita Cloud Computingu* je vyšší než *flexibilita on-premise infrastruktury*. Z principu metod by neměla nastat situace, že při odpovídající konfiguraci *on-premise infrastruktury* a *Cloud Computingu* bude výstupní hodnota rovna nule.
2. Metody jsou závislé na kvalitě vstupních dat a vždy je třeba srovnávat srovnatelné. Pozornost je nutné věnovat také plánování prvotní kapacity výpočetního výkonu. Aplikace třetího scénáře poukázala na skutečnost, že u metody bez započtení počáteční investice lze předdimenzováním počáteční investice vypočtenou hodnotu *flexibility* uměle snížit. Metoda, která počáteční investici zahrnuje, tento problém kompenzuje.
3. Ve všech scénářích hrála významnější roli prodejní složka výpočtu, která zvýhodňuje *flexibilitu Cloud Computingu*, zachycenou v negativních úrovních *binomického stromu*. S tím významným způsobem souvisí hodnota pravděpodobnost poklesu d , která v případě, že je vyšší než pravděpodobnost nárůstu p , ve výpočtech dává vyšší prioritu hodnotám ze záporných úrovní *binomického stromu*. Tato závislost se projevuje především u varianty se započtením prvotní investice, která se, na rozdíl od varianty bez započtení prvotní investice, ve výpočtech projevuje již při prvním poklesu požadavků.
4. Čtvrtý scénář poukázal na největší nedostatek obou variant metody. Tím je skutečnost, že i když jsou investice do *Cloud Computingu* výrazně vyšší než u *on-premise infrastruktury*, tak i přes rostoucí rozdíl v nákladech roste hodnota *flexibility Cloud Computingu*. Aplikuje se totiž pravidlo, že „když jednou něco výrazně naroste, případný následný pokles musí být také výrazný“. A protože poklesům je dáвана vyšší priorita, projeví se pokles ve výstupní hodnotě výrazněji než hodnota v rozdílech nákladů. Z principu tak může nastat situace, že i když je investice do *on-premise infrastruktury* nulová, je hodnota *flexibility Cloud Computingu* vyšší než nula, což neodpovídá realitě. Z toho opět plyne, že je třeba srovnávat srovnatelné nebo upravit metodu, aby byla vůči těmto extrémním situacím „odolná“. Možností by mohla být například normalizace vstupních hodnot.
5. Pro všechny provedené testy platí, že nejvýrazněji se na celkové hodnotě podílejí hodnoty, které se nacházejí v blízkém okolí nulové úrovně *binomického stromu*. To odpovídá skutečnosti, že pravděpodobnost a počet cest, vedoucích do těchto uzlů, jsou největší. Obě varianty, díky hodnotě vah, počítaných jako kombinace pravděpodobností dosažení uzlu, ve výpočtech navíc dávají vyšší prioritu uzlům, které jsou blízko kořenu stromu. Nejvýrazněji tuto skutečnost zdůraznila první varianta třetího scénáře, kde se v první pozitivní úrovni provádělo vysoké navýšení výpočetního výkonu a čím vyšší toto navýšení bylo, tím vyšší hodnota *flexibility Cloud Computingu* vycházela. To poukazuje na nutnost „kvalitního“ počátečního plánování byznys, a z ní odvozené IT strategie.
6. Pokud se do výpočtu *flexibility* zahrne životnost komponent *on-premise infrastruktury*, významným způsobem se ovlivní výsledná vypočtená hodnota. Není překvapením, že připočtením korekce se výstupní hodnoty navyšují. Pokud je požadavek na zahrnutí životnosti komponent do procesu rozhodování o investici, je třeba zvážit, jakým způsobem se s ní bude pracovat. Testy ukázaly, že vhodnější je výpočet

neefektivitu oddělit od výpočtu *flexibility* a výslednou hodnotu *neefektivitu* použít jako samostatný vstupní parametr rozhodovacího procesu.

13 Závěr

13.1 Vyhodnocení výzkumných otázek a stanovené hypotézy

V kapitole 1.2 byly definovány tři výzkumné otázky, na které měla dát tato disertační práce odpovědět:

1. Je metoda Reálných opcí využitelná pro finanční hodnocení investic do Cloud Computingu?
2. Jaká je přidaná hodnota metody Reálných opcí vůči ostatním metodám hodnocení a proč je vhodná pro finanční hodnocení investic do Cloud Computingu použít?
3. Je možné nalezenou přidanou hodnotu metody z celkové vypočtené hodnoty Reálné opce získat a použít pro rozhodování o investici?

Všechny tři otázky byly postupně zodpovězeny v průběhu práce a odpovědi lze najít v jejím textu. Odpověď na první dvě otázky dávají především kapitoly 2 – 8. Využitelnost metody *Reálných opcí* byla potvrzena jak rešerší dostupných zdrojů, tak i nalezením propojení s technologií *Cloud Computingu* prostřednictvím parametrů *volatility* a *flexibility*. Na základě provedení vlastních experimentů autorem bylo potvrzeno, že metoda je využitelná a odpověď na otázku zní: „Ano, metoda je využitelná.“ Druhá otázka zkoumala důvody, proč metodu aplikovat, když informaci o přínosech a výhodnosti *Cloud Computingu* lze získat i aplikací jiných metod finančního hodnocení investic. Odpověď na otázku zní: „Prostřednictvím metody Reálných opcí je možné pro konkrétní IT investiční projekt porovnat a vyhodnotit flexibilitu různých způsobů realizace IT infrastruktury.“ *Flexibilita* určuje míru *agility* organizace, tedy schopnost reagovat na různé situace v budoucnu. Čím vyšší hodnotu *flexibilita* má, tím více se na počátku méně výhodná investice může v budoucnu změnit na výhodnou. S odpovědí na druhou výzkumnou otázku se současně objevila třetí výzkumná otázka, která byla zaměřená na schopnost vyčíslení samotné hodnoty *flexibility*. Obecné použití metody *Reálných opcí* totiž spojuje *flexibilitu* a výši nákladů do jedné celkové hodnoty, ze které nelze stanovit, jak velkou část výstupní hodnoty *flexibilita* tvoří.

Odpověď na třetí výzkumnou otázku dávají kapitoly 9 – 12. Jsou navrženy a ověřeny dvě varianty nové metody hodnocení *flexibility*, které vycházejí z metody *Reálných opcí* a které ukazují, jakým způsobem lze hodnotu *flexibility* samostatně finančně ocenit. Odpověď na třetí výzkumnou otázku tedy zní: „Ano, přidanou hodnotu, kterou představuje flexibilita Cloud Computingu, pomocí metody Reálných opcí finančně ocenit lze. Vypočtenou hodnotu je možné použít jako další z kritérií nebo jako samostatné kritérium při výběru typu IT infrastruktury.“

Protože odpovědi na všechny výzkumné otázky byly v rámci práce nalezeny, lze konstatovat, že stanovené cíle práce byly naplněny. Na základě odpovědí lze také konstatovat, že výchozí hypotéza, že metoda *Reálných opcí* je vhodným nástrojem pro hodnocení investic v oblasti IT služeb, konkrétně *Cloud Computingu*, byla potvrzena.

13.2 Zhodnocení cílů práce

Předložená disertační práce přináší nový pohled na problematiku finančního hodnocení IT investic v oblasti budování různých způsobů *IT infrastruktury*. Zkoumá rozdíly mezi *on-premise infrastrukturou* a *Cloud Computingem*. Detailněji se zaměřuje na možnost vyčíslení rozdílů ve flexibilitě obou způsobů realizace infrastruktury pomocí metody *Reálných opcí*. Z provedených analýz a dostupné literatury je zřejmé, že přestože metoda *Reálných opcí* se v oblasti *IT investic* občas využívá, není použití zaměřené na *flexibilitu*, ale finanční výhodnost investice z pohledu vynaložených nákladů. Lze tak konstatovat, že problematikou vyčíslení *flexibility Cloud Computingu* se dosud nikdo podrobněji nezabýval.

Výchozím cílem práce bylo provést analýzu vhodnosti použití metody *Reálných opcí* v prostředí *IT technologií*, konkrétně *Cloud Computingu*, a navrhnout způsob jejího praktického použití. Pro přehlednost a naplnění byl výchozí cíl rozdělený do šesti dílčích cílů. Prvním z nich byla analýza problematiky *Cloud Computingu* a její odlišnosti od klasické *on-premise infrastruktury*. Na základě obecné specifikace pojmu „infrastruktura“ a definice *Cloud Computingu* byly specifikovány klíčové vlastnosti a poukázáno na podobnost se segmentem „utilit“. Pro hledání vazby s metodou *Reálných opcí* byla nejprve analyzována oblast propojení byznys strategie s plánováním investic a jejich finančního hodnocení. V rámci této analýzy se potvrdilo, že metoda *Reálných opcí* je na rozdíl od ostatních, běžně používaných metod, schopna do výpočtu zahrnout nejen náklady a příjmy, ale také *flexibilitu*, která je jednou z klíčových vlastností a výhod *Cloud Computingu*. Vyhodnocení použitelnosti a provázanosti metody *Reálných opcí* s *Cloud Computingem* bylo náplní druhého dílčího cíle. Jeho výstupem bylo poukázání na propojitelnost *flexibility Cloud Computingu* s metodou *Reálných opcí* prostřednictvím parametru *volatility*. Bylo potvrzeno, že metodu použít lze. Proto se přistoupilo k realizaci třetího dílčího cíle, kterým bylo provedení rešerše existujících dokumentů využití metody *Reálných opcí* pro hodnocení investic v IT oblasti, se zaměřením na použití v oblasti *Cloud Computingu*. Výsledkem bylo, že metoda se občas používá, ale její složitost a především nejasná přidaná hodnota brání jejímu širšímu rozšíření. Dílčí úkol byl realizován ve dvou krocích. Poprvé při obecném mapování problematiky a podruhé v době návrhu nové metody hodnocení *flexibility*, kdy bylo nutné rozšířit seznam klíčových slov, použitých při provádění rešerše. Ani opakovaná rešerše neprokázala větší využití metody a hodnocení *flexibility*. Proto autor této práce, za účelem vlastního ověření použití obecné aplikace metody *Reálných opcí*, rozšířil dílčí cíl o provedení praktických experimentů. Na základě provedených experimentů potvrdil výsledky provedené rešerše. Současně v rámci experimentů identifikoval možný přístup k hodnocení *flexibility* a tím pádem nové přidané hodnotě, která by mohla zvýšit rozšířenost metody i mimo odbornou veřejnost.

Na základě identifikovaného přístupu k finančnímu ohodnocení *flexibility* byl prvotní, obecně definovaný, výchozí cíl práce upřesněný na navržení a ověření konkrétní metody výpočtu hodnoty *flexibility*. Tento nově definovaný cíl byl rozdělený do dvou dílčích cílů. V rámci prvního byly navrženy dvě varianty metody hodnocení, které jsou založeny na vyhodnocení velikosti změn nákladů při dopředném procházení *binomického stromu*, generovaného použitím metody *Reálných opcí*. Z vnitřních hodnot je pomocí zpětného průchodu stromem, stejně jako při vyčíslení hodnoty *americké opce*, vypočítána výsledná hodnota *flexibility Cloud Computingu*. Vytvořené varianty výpočtu se liší použitím hodnoty počáteční investice. Jedna varianta metody ji do výpočtu zahrnuje, druhá ne. Během

návrhu metody byla také diskutována problematika vstupních dat a různé životnosti komponent výpočetního výkonu.

Výpočet vnitřních hodnot uzlů, při dopředném průchodu *binomickým stromem*, je založený na nově navrženém typu *exotické opce s pamětí*, která odráží veškerou historii průchodu stromem od jeho kořene až k uzlu, kde výpočet vnitřní hodnoty probíhá. Vzhledem k tomu, že tento způsob výpočtu je při „naivní“ implementaci s rostoucí velikostí stromu časově a výpočetně náročný, byla v rámci práce také navržena nová datová struktura a algoritmus průchodu stromem, který výpočetní náročnost významným způsobem snižuje a umožňuje provádět výpočet výsledné hodnoty v „rozumném“ čase i pro stromy s delší životností a velkým počtem období.

Schopnost výpočtu *flexibility* a chování obou variant metody byly ověřeny v rámci druhého dílčího cíle. Bylo definováno pět různých scénářů ověření, z nichž čtyři byly aplikovány na obě varianty. Pátý scénář, spojený s korekcí životnosti komponent výpočetního výkonu byl aplikovaný jen na variantu, která do výpočtu nezahrnuje hodnotu počáteční investice. Po analýze výstupů testů scénáře bylo rozhodnuto, že pro ověření druhé varianty metody bude životnost řešena samostatně. Výstupem aplikace scénářů bylo potvrzení, že pomocí navržené metody *flexibilitu* finančně ohodnotit lze. Byl tedy naplněn upřesněný cíl, z čehož vyplývá, že byl naplněn i cíl prvotní. Prokázalo se, že metodu *Reálných opcí* pro hodnocení investic *Cloud Computingu* použít lze a s její pomocí je možné samostatně finančně ohodnotit hodnotu *flexibility*.

Závěrem lze, mimo jiné, také konstatovat, že použití navržené a ověřené metody není omezeno jen na hodnocení investic do *Cloud Computingu* a *IT infrastruktury*. Metodu je možné aplikovat i do oblastí, které svým charakterem patří nebo se blíží segmentu „utilit“. Z praktického pohledu to znamená, že metodu můžeme aplikovat všude, kde v prostředí s existujícími riziky a nejistotami posuzujeme, zda je výhodnější si jakoukoliv infrastrukturu vybudovat a udržovat vlastními silami nebo si ji pronajmout. Stačí jen dekomponovat náklady na srovnatelné položky, ty dosadit do navržené metody a výsledkem je hodnota *flexibility*, kterou se liší pronájem od pořízení.

13.3 Možnosti další výzkumné práce v této oblasti

Během návrhu variant metody finančního hodnocení *flexibility Cloud Computingu* a jejich ověření byly identifikovány dvě nové oblasti, které jsou s metodou svázané a na které je možné zaměřit samostatný výzkum. První oblastí je transformace byznys požadavků, reprezentovaných vývojem budoucích toků **S**, na konkrétní výpočetní výkon, reprezentovaný konkrétní konfigurací *on-premise infrastruktury* a vybranou kapacitou výpočetního výkonu *Cloud Computingu*. Druhou oblastí, která je zčásti již rozpracovaná v práci [114], je problematika životnosti komponent *on-premise infrastruktury* a možnosti jejího započítání do výpočtu ve formě korekce, včetně scénářů, založených na řetězení *opcí*.

Z pohledu samotné navržené metody, pokud pomineme otestování na dalších scénářích a reálných datech, se jeví jako logické pokračování výzkumu spojení obou variant do jedné tak, aby se vhodným způsobem využilo počáteční investice v pozitivních úrovních *binomického stromu* a současně tato počáteční investice zbytečně nenavyšovala hodnoty v negativních úrovních a nezkracovala výpočet *flexibility*. Další možností rozvoje metody je úprava způsobu výpočtu vah, použitých pro výpočet vnitřních hodnot uzlů **VH_i**. Navržený způsob, využívající pravděpodobnosti **p** a **d**, výrazným způsobem upřednostňuje hodnoty v okolí nulté úrovně, v obdobích po začátku projektu a při vyšší *volatilitě* také negativní úrovně *binomického stromu*. Případně výrazné výkyvy ve vyšších úrovních

a pozdějším období projektu jsou výrazně potlačovány. Jednou z možností může být využití hodnot u a d , se kterými se v navržené metodě pracuje jen nepřímo, přes odvozený výpočetní výkon rozvoje hodnot S . Pro zvýšení odolnosti vůči extrémním a nekorektním vstupním hodnotám by bylo vhodné doplnit metodu o vhodnou normalizaci vstupů. Metoda také vůbec nepracuje s *opční prémie*, která v navržených variantách metody nebyla pro výpočet potřebná. Další výzkum by se tak mohl zaměřit i na stanovení významu *opční prémie*, její vyčíslení a zahrnutí do výpočtu hodnoty *flexibility*.

14 Použitá literatura

- [1] MENKEN, Ivanka. *Cloud Computing - The Complete Cornerstone Guide to Cloud Computing Best Practices Concepts, Terms, and Techniques for Successfully Planning, Implementing Enterprise IT Cloud Computing Technology*. London, UK, UK: Emereo Pty Ltd, 2008. ISBN 1921573007, 9781921573002.
- [2] CHELLAPPA, Ramnath. Intermediaries in Cloud-Computing: A New Computing Paradigm. *INFORMS meeting in Dallas*. 1997.
- [3] BOTTA, Alessio, Walter DE DONATO, Valerio PERSICO a Antonio PESCAPÉ. Integration of Cloud computing and Internet of Things: A survey. *Future Generation Computer Systems*. 2016, **56**, 684–700. ISSN 0167-739X.
- [4] BUYYA, Rajkumar, Rajkumar BUYYA, Chee Shin YEO, Chee Shin YEO, Srikumar VENUGOPAL, Srikumar VENUGOPAL, James BROBERG, James BROBERG, Ivona BRANDIC a Ivona BRANDIC. Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility. *Future Generation Computer Systems*. 2009, **25**(6), 17. ISSN 0167-739.
- [5] LICKLIDER, J. C. R. Man-Computer Symbiosis. *IRE Transactions on Human Factors in Electronics* [online]. 1960, **HFE-1**(1), 4–11. ISSN 0099-4561. Dostupné z: doi:10.1109/THFE2.1960.4503259
- [6] GARFINKEL, Simson a Harold ABELSON. *Architects of the Information Society: 35 Years of the Laboratory for Computer Science at Mit*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1999. ISBN 0262571315.
- [7] FRIEDMAN, Thomas L. *Svět je plochý - Stručné dějiny 21. století*. Praha: ACADEMIA, 2007. ISBN 978-80-200-1530-3.
- [8] WEILL, Peter. The role and value of information technology infrastructure: Some empirical observations. In: Rajiv D BANKER, Robert J KAUFFMAN a Mo Adam MAHMOOD, ed. *Strategic Information Technology Management: Perspectives on Organizational Growth and Competitive Advantage*. Hershey, PA, USA: IGI Global, 1993, s. 547–572. ISBN 1-878289-16-0.
- [9] HOSPODÁŘSKÉ NOVINY. *Cloud tvoří Amazonu většinu zisku, roste i dalším IT obrům. Investice do něj budou stoupat dvouciferným tempem* [online]. Dostupné z: <https://archiv.ihned.cz/c1-65676550-cloud-tvori-amazonu-vetsinu-zisku-roste-i-dalsim-it-obrum>
- [10] MEDIA, Forbes. *AWS To Continue To Drive Growth For Amazon* [online]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/greatspeculations/2017/07/25/aws-to-continue-to-drive-growth-for-amazon/#243f9c9e4cfb>
- [11] BENZINGA.COM. *Fun Amazon (NASDAQ: AMZN) Fact: AWS Contributes More Than 100% Of Total Operating Profit | Benzinga* [online]. Dostupné z: <https://www.benzinga.com/news/earnings/17/08/9848963/fun-fact-amazons-aws-contributes-more-than-100-of-its-total-operating-pr>
- [12] PLUMMER, Daryl C., Thomas J. BITTMAN, Tom AUSTIN, David W. CEARLEY a David Mitchell SMITH. Cloud Computing : Defining and Describing an Emerging Phenomenon. *Gartner Analysis*. 2008, **51**(June), 1–9. ISSN 00010782.
- [13] BUYYA, R., J. BROBERG a A. M. GOSCINSKI. *Cloud Computing: Principles*

- and Paradigms*. USA: Wiley, 2010. Wiley Series on Parallel and Distributed Computing. ISBN 9781118002209.
- [14] ARMBRUST, Michael, Armando FOX, Rean GRIFFITH, Anthony D JOSEPH, Randy KATZ, Andy KONWINSKI, Gunho LEE, David PATTERSON, Ariel RABKIN, Ion STOICA a Matei ZAHARIA. A View of Cloud Computing. *Commun. ACM*. 2010, **53**(4), 50–58. ISSN 0001-0782.
- [15] PLUMMER, D. C., D. M. SMITH, T. J. BITTMAN, D. W. CEARLEY, D. J. CAPPUCCIO, D. SCOTT, R. KUMAR a B. ROBERTSON. Five Refining Attributes of Public and Private Cloud Computing. *Gartner Research*. 2009.
- [16] MELL, Peter a Timothy GRANCE. The NIST Definition of Cloud Computing Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. *National Institute of Standards and Technology, Information Technology Laboratory*. 2011, **145**, 7. ISSN 1472-0213.
- [17] HARMS, Rolf a Michael YAMARTINO. The Economics of the Cloud. *Microsoft Whitepaper*. 2010.
- [18] BOHN, Robert B, John MESSINA, Fang LIU, Jin TONG a Jian MAO. NIST Cloud Computing Reference Architecture. In: *Proceedings of the 2011 IEEE World Congress on Services*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2011, s. 594–596. SERVICES '11. ISBN 978-0-7695-4461-8.
- [19] ARMBRUST, M., A. FOX, R. GRIFFITH, A. D. JOSEPH, R. H. KATZ, A. KONWINSKI, G. LEE, D. A. PATTERSON, A. RABKIN, I. STOICA a M. ZAHARIA. Above the clouds: A Berkeley view of cloud computing. *University of California, Berkeley, Tech. Rep. UCB*. 2009, 07–013. ISSN 00010782.
- [20] LEADERSHIP, Thought a White PAPER. Success in the cloud : Why workload matters. *IBM CIO Though Leadership White Paper*. 2012, (March).
- [21] DILLON, T., Chen Wu Chen WU a E. CHANG. Cloud Computing: Issues and Challenges. *Advanced Information Networking and Applications (AINA), 2010 24th IEEE International Conference on*. 2010, 27–33. ISSN 1550-445X.
- [22] GUPTA, Prashant, A SEETHARAMAN a John Rudolph RAJ. The usage and adoption of cloud computing by small and medium businesses. *International Journal of Information Management*. 2013, **33**(5), 861–874. ISSN 0268-4012.
- [23] SILIC, Mario a Andrea BACK. Shadow IT - A View from Behind the Curtain. *Comput. Secur.* 2014, **45**, 274–283. ISSN 0167-4048.
- [24] GYÖRY, Andreas, Anne CLEVEN, Falk UEBERNICKEL a Walter BRENNER. Exploring the Shadows: IT Governance Approaches to User-Driven Innovation. In: *ECIS*. 2012, s. 222.
- [25] KEŘKOVSKÝ, Miloslav a Oldřich VYKYPĚL. *Strategické řízení : teorie pro praxi*. 1. vyd. Praha: C.H. Beck, 2002. ISBN 807179578X.
- [26] MARYŠKA, Miloš. Strategie a strategické řízení v IS/ICT. *Systémová integrace: časopis České společnosti pro systémovou integraci*. 2008, **2**, 71–80.
- [27] LUTCHEN, M D. *Managing IT as a Business: A Survival Guide for CEOs*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2011. ISBN 9781118045756.
- [28] STENZEL, Joe. *Cio Best Practices: Enabling Strategic Value with Information Technology*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2007.

- ISBN 9780470048689.
- [29] JAN, Dohnal a Příklenk OLDŘICH. *CIO a podpora byznysu: s případovými studii CIO v ČR a SR*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing a.s., 2011. ISBN 9788024770970.
- [30] BERG, Cliff. *Value-Driven IT, Achieving Agility and Assurance Without Compromising Either*. 1. vyd. Reston VA, USA: Cliff Berg Imprints, 2008. ISBN 1439207216.
- [31] MEKAWY, Mohamed El, Lazar RUSU a Nabeel AHMED. Business and IT Alignment: An Evaluation of Strategic Alignment Models. In: MiltiadisD LYTRAS, Patricia ORDONEZ DE PABLOS, Ernesto DAMIANI, David AVISON, Ambjörn NAEVE a DavidG HORNER, ed. *Best Practices for the Knowledge Society. Knowledge, Learning, Development and Technology for All*. Berlin Heidelberg: Springer, 2009, s. 447–455. Communications in Computer and Information Science. ISBN 978-3-642-04756-5.
- [32] HENDERSON, J. C. a N. VENKATRAMAN. Strategic alignment: leveraging information technology for transforming organizations. *IBM Systems Journal*. 1993, **32**(1), 4–16. ISSN 0018-8670.
- [33] NÁPLAVA, Pavel. Cloud computing a reálné opce jako akcelerátor začínajících IT technologických firem. *Acta Informatica Pragensia*. 2014, **3**(4). ISSN 1805-4951.
- [34] CHUNG, Sock H., R. K. Jr. RAINER a Bruce R. AND LEWIS. The Impact of Information Technology Infrastructure Flexibility on Strategic Alignment and Application Implementations. *Communications of the Association for Information Systems*. 2003, **11**(1), 44. ISSN 1529-3181.
- [35] VALACH, Josef. *Investiční rozhodování a dlouhodobé financování*. Praha: Ekopress, 2011. ISBN 978-80-86929-71-2.
- [36] SCHOLLEOVÁ, Hana. *Hodnota flexibility: Reálné opce*. Praha: C. H. Beck, 2007. ISBN 978-80-7179-735-7.
- [37] SYNEK, M. a E. KISLINGEROVÁ. *Podniková ekonomika*. Praha: C. H. Beck, 2015. Beckovy ekonomické učebnice. ISBN 9788074002748.
- [38] FOTR, Jiří a Ivan SOUČEK. *Investiční rozhodování a řízení projektů*. Praha: Grada Publishing a.s, 2011. ISBN 9788024732930.
- [39] HARRIS, K. a R.: CASANTO. Where is the Value on Investments in IT. *Gartner Research*. 2002, Gartner, SPA-17-234.
- [40] POUR, Jan. Přístupy k řízení podnikové informatiky. *WORKING PAPER č. 02/2010, Centrum výzkumu konkurenční schopnosti české ekonomiky*. 2010. ISSN 1801-4496.
- [41] SILVIUS, A. J. G. Does ROI Matter? Insights into the True Business Value of IT. *Electronic Journal of Information Systems Evaluation*. 2006, **9**(2), 93–104. ISSN 1566-6379.
- [42] NOVOTNÝ, Ota, Jan POUR, Miloš MARYŠKA a Josef BASL. *Řízení výkonnosti podnikové informatiky*. 1. vyd. Praha: Professional Publishing, 2010. ISBN 9788074310409.
- [43] MILOSLAV, Synek a KOLEKTIV. *Manažerská ekonomika - 5., aktualizované a*

- doplňené vydání*. Praha: Grada Publishing a.s, 2011. Expert (Grada). ISBN 9788024734941.
- [44] HILL, Richard, Laurie HIRSCH, Peter LAKE a Siavash MOSHIRI. Cloud Economics. In: *Guide to Cloud Computing: Principles and Practice*. B.m.: Springer London, 2013, Computer Communications and Networks, s. 187–207. ISBN 978-1-4471-4602-5.
- [45] APFEL, Audrey L. a Michael SMITH. TVO Methodology: Valuing IT Investments via the Gartner Business Performance Framework. *Gartner Research*. 2003, R-19-1910.
- [46] ALLEN, Franklin, Richard A. BREALEY a Steward C. MYERS. *Teorie a praxe firemních financí*. 2. vyd. Brno: BizBooks, 2014. ISBN 978-80-265-0028-5.
- [47] AMBROŽ, Luděk. *Oceňování opcí*. 1. vyd. Praha: C. H. Beck, 2002. ISBN 80-7179-531-3.
- [48] TRUONG, Hong Linh a Schahram DUSTDAR. Composable cost estimation and monitoring for computational applications in cloud computing environments. *Procedia Computer Science*. 2010, 1(1), 2175–2184. ISSN 18770509.
- [49] KASHEF, Mohammad Mahdi a Jörn ALTMANN. A Cost Model for Hybrid Clouds. In: Kurt VANMECHELEN, Jörn ALTMANN a Omer F. RANA, ed. *Economics of Grids, Clouds, Systems, and Services, 8th International Workshop, GECON 2011, Paphos, Cyprus, December 5, 2011, Revised Selected Papers*. Berlin Heidelberg: Springer - Verlag, 2012, Lecture Notes in Computer Science, s. 46–60. ISBN 978-3-642-28674-2.
- [50] KLEMS, Markus, Jens NIMIS a Stefan TAI. Do Clouds Compute? A Framework for Estimating the Value of Cloud Computing. In: Christof WEINHARDT, Stefan LUCKNER a Jochen STÖSSE, ed. *Designing E-Business Systems, Markets, Services, and Networks, 7th Workshop on E-Business, WEB 2008, Paris, France, December 13, 2008, Revised Selected Papers*. Berlin Heidelberg: Springer, 2009, Lecture Notes in Business Information Processing, s. 110–123. ISBN 978-3-642-01255-6.
- [51] HILL, Richard, Laurence HIRSCH, Peter LAKE a Siavash MOSHIRI. *Guide to cloud computing: principles and practice*. London: Springer, 2013. ISBN 978-1-4471-460-25.
- [52] MISRA, Subhas Chandra a Arka MONDAL. Identification of a company's suitability for the adoption of cloud computing and modelling its corresponding Return on Investment. *Mathematical and Computer Modelling*. 2011, 53(3–4), 504–521. ISSN 08957177.
- [53] SUN, Xiao Lin, Tie Nan WANG a Ye Zhuang TIAN. The ENPV model based on option theory in IT investments. In: *ICMIT 2006 Proceedings - 2006 IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology*. Singapore, China, Piscataway: IEEE, 2006, s. 518–521. ISBN 1424401488.
- [54] MICROSOFT AZURE. *Total Cost of Ownership (TCO) Calculator* [online]. Dostupné z: <https://www.tco.microsoft.com/Home/Calculator>
- [55] SERVICES, Amazon Web. *AWS Total Cost of Ownership (TCO) Calculator* [online]. Dostupné z: <https://awstcocalculator.com/>
- [56] ŠVÍK, Martin. *IT Solution Efficiency Evaluation*. Praha, 2012. Fakulta

- elektrotechnická, České vysoké učení v Praze.
- [57] NUCLEUS RESEARCH, Inc. *Nucleus Reserch* [online]. Dostupné z: <https://nucleusresearch.com/>
- [58] ROI INSTITUTE, Inc. *ROI Institute* [online]. Dostupné z: <http://www.roiinstitute.net/>
- [59] GARTNER, Inc. *Gartner* [online]. Dostupné z: <http://www.gartner.com/>
- [60] INTERNET CZ, a. s. *Konfigurátor nákladů na Cloud* [online]. Dostupné z: <https://www.forpsicloud.cz/company/o-forpsi.aspx>
- [61] STARÝ, Oldřich. *Reálné opce*. Praha: A Plus, 2003. ISBN 80-902514-6-3.
- [62] COHEN, Guy. *Bible of Options Strategies, the: The Definitive Guide for Practical Trading Strategies*. First. USA: FT Press, 2005. ISBN 0131710664.
- [63] BLACK, Fischer a Myron S. SCHOLES. The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*. 1973, **81**(3), 637–654.
- [64] MÁLEK, J. *Opce a Futures*. Praha: VŠE, 1998. ISBN 80-7079-442-9.
- [65] COX, John C., Stephen A. ROSS a Mark RUBINSTEIN. Option pricing: A simplified approach. *Journal of Financial Economics*. 1979, **7**, 229–263. ISSN 0304405X.
- [66] KODUKULA, P. a C. PAPUDESU. *Project Valuation Using Real Options: A Practitioner's Guide*. Pine Island Rd.: J. Ross Publishing., 2006. J. Ross Publishing Project Management Professional Series. ISBN 978-1-932159-43-1.
- [67] SHAHROKHSHAHI, Zahra. HOW MAKE REAL OPTION DEPENDABLE AND UNDERSTANDABLE AS A STRATEGIC DECISION MAKING TOOL? *ACRN Oxford Journal of Finance and Risk Perspectives*. 2016, **5**(2), 13–26.
- [68] NÁPLAVA, Pavel. Evaluation of Cloud Computing Hidden Benefits by Using Real Options Analysis. *Acta Informatica Pragensia*. 2016, **5**(2). ISSN 1805-4951.
- [69] GOLDMAN, M Barry, Howard B SOSIN a Mary Ann GATTO. Path Dependent Options: „Buy at the Low, Sell at the High". *The Journal of Finance*. 1979, **34**(5), 1111–1127. ISSN 00221082, 15406261.
- [70] WEERT, Frans de. *Exotic Options Trading*. 1. vyd. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd., 2008. ISBN 978-0470517901.
- [71] SCHOLLEOVÁ, Hana. *Investiční controlling, Jak hodnotit investiční záměry a řídit podnikové investice*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing a.s., 2009. ISBN 978-80-247-2952-7.
- [72] MYERS, Stewart C. Determinants of corporate borrowing. *Journal of Financial Economics*. 1977, **5**(2), 147–175.
- [73] PATERNOSTER, Nicolò, Carmine GIARDINO, Michael UNTERKALMSTEINER, Tony GORSCHER a Pekka ABRAHAMSSON. Software Development in Startup Companies: A Systematic Mapping Study. *Inf. Softw. Technol.* 2014, **56**(10), 1200–1218. ISSN 0950-5849.
- [74] YAM, Chew Yean, Adrian BALDWIN, Simon SHIU a Christos IOANNIDIS. Migration to cloud as real option: Investment decision under uncertainty. *Proc. 10th IEEE Int. Conf. on Trust, Security and Privacy in Computing and*

- Communications, TrustCom 2011, 8th IEEE Int. Conf. on Embedded Software and Systems, ICESS 2011, 6th Int. Conf. on FCST 2011*. 2011, 940–949.
- [75] LEWIS, Neal A, Ted G ESCHENBACH a Joseph C HARTMAN. Can We Capture the Value of Option Volatility? *Engineering Economist*. 2008, **53**(3), 230–258. ISSN 0013791X.
- [76] COBB, Barry R a John M CHARNES. Real Options Volatility Estimation with Correlated Inputs. *Engineering Economist*. 2004, **49**(2), 119–137. ISSN 0013791X.
- [77] DAMODARAN, Aswath. *Damodaran Online* [online]. Dostupné z: <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>
- [78] LUEHRMAN, Timothy A. Strategy as a Portfolio of Real Options. *Harvard business review*. 1998, **76**(5), 89–99. ISSN 00178012.
- [79] SMIT, Han T.J. a Lenos TRIGEORGIS. Real options and games: Competition, alliances and other applications of valuation and strategy. *Review of Financial Economics*. 2006, **15**(2), 95–112. ISSN 10583300.
- [80] VIKTOŘÍK, Tomáš a Antonín STEHLÍK. Reálné opce jako podpora investičního manažerského rozhodování. *Ekonomie a Management*. 2008, **11**(1), 90–98. ISSN 1212-3609.
- [81] HOMMEL, Ulrich a Gunnar PRITSCH. Marktorientierte Investitionsbewertung mit dem Realloptionsansatz: Ein Implementierungsleitfaden für die Praxis. *Finanzmarkt und Portfolio Management*. 1999, **13**(2), 121–144.
- [82] TALLON, Paul P., Robert J. KAUFFMAN, Henry C. LUCAS, Andrew B. WHINSTON a Kevin ZHU. Using real options analysis for evaluating uncertain investments in information technology: insights from the icis 2001 debate. *Communications of the Association for Information Systems*. 2002, **9**(9), 136–167. ISSN 1529-3181.
- [83] GEBAUER, Judith a Franz SCHOBER. Information System Flexibility and the Cost Efficiency of Business Processes. *Journal of the Association for Information Systems*. 2006, **7**(3), 122–147. ISSN 15369323.
- [84] SCHOBER, Franz a Judith GEBAUER. How much to spend on flexibility? Determining the value of information system flexibility. *Decision Support Systems*. 2011, **51**(3), 638–647. ISSN 0167-9236.
- [85] TAUDES, Alfred, Markus FEURSTEIN a Andreas MILD. *How option thinking can improve software platform decisions*. Vienna: SFB Adaptive Information Systems and Modelling in Economics and Management Science, WU Vienna University of Economics and Business. 1999.
- [86] WU, F, H Z LI, L K CHU, D SCULLI a K AND GAO. An approach to the valuation and decision of ERP investment projects based on real options. - *Annals of Operations Research*. 2009, **168**(1), 181–203. ISSN 0254-5330.
- [87] LI, Xiaotong a John D JOHNSON. Evaluate IT Investment Opportunities Using Real Options Theory. *Inf.Resour.Manage.J.* 2002, **15**(3), 32–47. ISSN 1040-1628.
- [88] CAMPBELL, John A. Real options analysis of the timing of IS investment decisions. *Information & Management*. 2002, **39**(5), 337–344. ISSN 0378-7206.
- [89] CHEN, Tao, Jinlong ZHANG a Kin-Keung LAI. An integrated real options

- evaluating model for information technology projects under multiple risks. *International Journal of Project Management*. 2009, **27**(8), 776–786. ISSN 0263-7863.
- [90] SCHWARTZ, Eduardo S a Carlos ZOZAYA-GOROSTIZA. Investment Under Uncertainty in Information Technology: Acquisition and Development Projects. *Management Science*. 2003, **49**(1), 57–70. ISSN 00251909.
- [91] KHAJEH-HOSSEINI, Ali, David GREENWOOD a Ian SOMMERVILLE. Cloud migration: A case study of migrating an enterprise IT system to IaaS. *Proceedings - 2010 IEEE 3rd International Conference on Cloud Computing, CLOUD 2010*. 2010, 450–457.
- [92] KHAJEH-HOSSEINI, A, I SOMMERVILLE, J BOGAERTS a P TEREOWDA. Decision Support Tools for Cloud Migration in the Enterprise. In: *Cloud Computing (CLOUD), 2011 IEEE International Conference on*. 2011, s. 541–548. ISBN 2159-6182.
- [93] MASTNÝ, Martin. *Real Option Analysis and cloud computing investments (draft)*. Praha, 2017. České vysoké učení technické v Praze.
- [94] BUDGEN, David a Pearl BRERETON. Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. In: *Proceedings of the 28th International Conference on Software Engineering*. New York, NY, USA: ACM, 2006, s. 1051–1052. ICSE '06. ISBN 1-59593-375-1.
- [95] LEE, In a Kyoochun LEE. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*. 2015, **58**(4), 431–440.
- [96] KASIRI, Narges a Ramesh SHARDA. Real Options and System Dynamics for Information Technology Investment Decisions: Application to RFID Adoption in Retail. *ACM Trans. Manage. Inf. Syst.* 2013, **4**(3), 1–25. ISSN 2158-656X.
- [97] FENG, Shu, Jing ZHANG a Yue GAO. Real Options Analysis for Smart Grid: The Role of Information Technology and Public Policy. In: *Proceedings of the 16th Annual International Conference on Digital Government Research*. New York, NY, USA: ACM, 2015, s. 266–275. dg.o '15. ISBN 978-1-4503-3600-0.
- [98] ALZAGHOUL, Esra a Rami BAHSOON. Economics-Driven Approach for Managing Technical Debt in Cloud-Based Architectures. In: *Proceedings of the 2013 IEEE/ACM 6th International Conference on Utility and Cloud Computing*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2013, s. 239–242. UCC '13. ISBN 978-0-7695-5152-4.
- [99] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, Esra a Calif.) INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE ENGINEERING (35TH: 2013: SAN FRANCISCO. *2013 4th International Workshop on Managing Technical Debt (MTD) : proceedings : May 20, 2013, San Francisco, CA, USA*. B.m.: IEEE Press, 2013. ISBN 9781467364430.
- [100] ALZAGHOUL, Esra a Rami BAHSOON. Evaluating Technical Debt in Cloud-Based Architectures Using Real Options. *2014 23rd Australian Software Engineering Conference*. 2014, 1–10.
- [101] JEDE, Andreas a Frank TEUTEBERG. Valuing the Advantage of Early Termination : Adopting Real Options Theory for SaaS. *49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS) (2016)*. 2016, 4880–4889.

ISSN 15301605.

- [102] YAM, C -Y, A BALDWIN, S SHIU a C IOANNIDIS. Migration to Cloud as Real Option: Investment Decision under Uncertainty. In: *Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom), 2011 IEEE 10th International Conference on*. Changsha, Hunan Province, P. R. China: IEEE Computer Society, 2011, s. 940–949. ISBN 978-1-4577-2135-9.
- [103] QANBARI, Soheil, Fei LI, Schahram DUSTDAR a Tian-Shyr DAI. An Economic Model for Utilizing Cloud Computing Resources via Pricing Elasticity of Demand and Supply. In: Markus HELFERT, Frédéric DESPREZ, Donald FERGUSON, Frank LEYMANN a Victor MÉNDEZ MUNOZ, ed. *Cloud Computing and Services Sciences: International Conference in Cloud Computing and Services Sciences, CLOSER 2014 Barcelona Spain, April 3--5, 2014 Revised Selected Papers*. Cham: Springer International Publishing, 2015, s. 47–62. ISBN 978-3-319-25414-2.
- [104] ROGERS, Owen a Dave CLIFF. A financial brokerage model for cloud computing. *Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications*. 2012, 1(1), 2. ISSN 2192-113X.
- [105] KIM, Byungil, Kyle ANDERSON, SangHyun LEE a Hyoungkwan KIM. A Real Option Perspective to Value the Multi-Stage Construction of Rainwater Harvesting Systems Reusing Septic Tank. *Water Resources Management*. 2014, 28(8), 2279–2291. ISSN 1573-1650.
- [106] TARGIEL, K. S. Dynamic programming in the binomial tree structures for real options analysis. In: *2015 6th International Conference on Modeling, Simulation, and Applied Optimization (ICMSAO)*. 2015, s. 1–4.
- [107] SOFTWARE602 A.S., FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ, ČVUT v Praze. *Využití výpočetního výkonu cloud technologie pro zpracování inteligentních elektronických formulářů (FormCloud) - Závěrečná zpráva projektu TA01010784*. 2013.
- [108] NÁPLAVA, Pavel. Real Options and their Possible Usage in the ICT Investments Planning. In: *POSTER 2013 - 17th International Student Conference on Electrical Engineering. Prague: Czech Technical University*. 2013. ISBN 978-80-01-05242-6.
- [109] DVOŘÁKOVÁ, Veronika. *Využití reálných opcí při poskytování IT služeb*. Praha, 2014. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická.
- [110] NOSKOVÁ, Veronika. *Možnosti využití cloudu a reálných opcí pro začínající technologické firmy*. Praha, 2016. Fakulta informačních technologií, ČVUT v Praze.
- [111] LEWIS, Neal, Ted ESCHENBACH a Joseph HARTMAN. AC 2009-780: Real Options and the use of Discrete and Continuous Interest Rates. *age*. 2009, 14(1), 10.
- [112] MILOSLAV SYNEK a Eva KISLINGEROVÁ. *Podniková ekonomika. 6. přepracované a doplněné vydání*. Praha: C. H. Beck, 2015. ISBN 978-80-7400-274-8.
- [113] STARÝ, Oldřich. *Finanční management [přednášky]*. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická, 2017.

-
- [114] HRIVŇÁK, Martin. *Automatizace rozhodovacích procesů o investicích*. Praha, 2005. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická.
- [115] ALI BABAR, Muhammad a Zoran PANTIĆ. *Guidelines for Building a Private Cloud Infrastructure*. Denmark: IT-Universitetet i København, 2012. ISBN 978-87-7949-254-7.
- [116] LI, Ang, Xiaowei YANG, Srikanth KANDULA a Ming ZHANG. CloudCmp: Comparing Public Cloud Providers. In: *Proceedings of the 10th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement*. New York, NY, USA: ACM, 2010, s. 1–14. IMC '10. ISBN 978-1-4503-0483-2.
- [117] DVOŘÁKOVÁ, Veronika. *Srovnání cloudové a virtualizační technologie*. Praha, 2012. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická.
- [118] TRNKA, Václav. *Nástroj pro podporu výpočtu hodnoty Reálných opcí*. Praha, 2017. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická.
- [119] KURZY.CZ. *Výnos desetiletého státního dluhopisu (maastrichtské kritérium) - ekonomika ČNB* [online]. 2017 [vid. 2017-06-02]. Dostupné z: <http://www.kurzy.cz/cnb/ekonomika/vynos-desetileteho-statniho-dluhopisu-maastrichtske-kriterium/>
- [120] NOSKOVÁ, Veronika. *Specifika přechodu do cloudového prostředí*. Praha, 2013. České vysoké učení technické v Praze.

15 Přílohy

15.1 Příloha A – Dokumenty analyzované v rámci provedené rešerše

Alzaghoul, E.; Bahsoon, R. Evaluating Technical Debt in Cloud-Based Architectures Using Real Options. In: *2014 23rd Australian Software Engineering Conference*, ISSN 1530-0803, pp. 1-10

Alzaghoul, E.; Bahsoon, R. CloudMTD: Using real options to manage technical debt in cloud-based service selection. In: *2013 4th International Workshop on Managing Technical Debt (MTD)*, pp. 55-62

Alzaghoul, E.; Bahsoon, R. Economics-Driven Approach for Managing Technical Debt in Cloud-Based Architectures. In: *2013 IEEE/ACM 6th International Conference on Utility and Cloud Computing*, pp. 239-242

Cartlidge, J.; Clamp, P. Correcting a financial brokerage model for cloud computing: closing the window of opportunity for commercialisation. *Journal of Cloud Computing*, volume 3, no. 1, 2014, p. 2, ISSN 2192-113X

Estevez, R. G.; McCool, M. D.; Lemieux, C. Real options for mobile communication management. In: *2011 IEEE GLOBECOM Workshops (GC WORKSHOPS)*, 2011, ISSN 2166-0077, pp. 1241-1246

Feng, S.; Zhang, J.; Gao, Y. Real options analysis for smart grid: the role of information technology and the public policy. In: *Proceedings of the 16th Annual International Conference on Digital Government Research - dg.o'15*, New York, New York, USA: ACM Press, 2015, ISSN 9781450336000, pp. 266-275

Garg, S. K.; Sharma, B.; Calheiros, R. N.; et al., *Financial Application as a Software Service on Cloud.*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, ISBN 978-3-642-32129-0, pp. 141-151

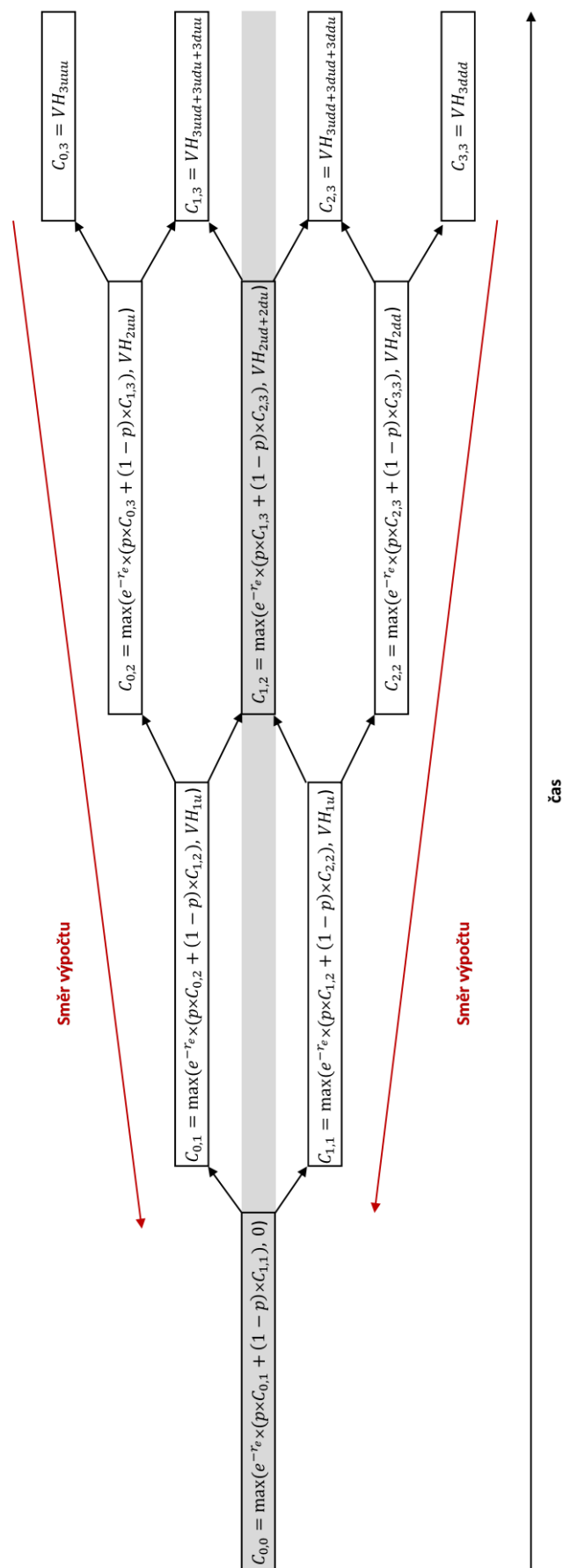
Guj, P. A practical real option methodology for the evaluation of farm-in/out joint venture agreements in mineral exploration. *Resources Policy*, volume 32, no. 1, mar 2011, pp. 80-90

Halboob, W.; Abbas, H.; Haouam, K.; et al. Dynamically Changing Service Level Agreements (SLAs) Management in Cloud Computing. In: *Intelligent Computing Methodologies. ICIC 2014*, edited by S. Huang D.; H. Jo K.; L. Wang, Springer, Cham, 2014, pp. 434-443

Halboob, W.; Abbas, H.; Khurram, M.; et al. A framework to address inconstant user requirements in cloud SLAs management. *Cluster Comput*, volume 18, 2015, pp. 123-133

- Hauschild, B.; Reimsbach, D. Modeling sequential R&D investments: a binomial compound option approach. *Business Research*, volume 8, no. 1, 2015: pp. 39-59, ISSN 2198-2627
- Jede, A.; Teuteberg, F. Valuing the Advantage of Early Termination: Adopting Real Options Theory for SaaS. In: *2016 49th Hawaii International Conference on System Science (HICSS)*, Kaola: IEEE, jan 2016, ISBN 978-0-7695-5670-3, pp. 4880-4889
- Kasiri, N.; Sharda, R. Real Options and System Dynamics for Information Technology Investments Decisions. *ACM Transactions on Management Information Systems*, volume 4, no. 3, oct 2013: pp. 1-25
- Kim, B.; Anderson, K.; Lee, S.; et al. A Real Option Perspective to Value the Multi-Stage Construction of Rainwater Harvesting Systems Reusing Septic Tank. *Water Resources Management*, volume 28, no. 8, 2014: pp. 2279-2291, ISSN 1573-1650
- Lee, I.; Lee, K. The Internet of Things (IoT): Application, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, volume 58, no. 4, jul 2015: pp. 431-440
- Likhvarev, A.; Babkin, E. *Developing the Method for Value Assessment of SOA-Based IS Projects.*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, ISBN 978-3-642-33281-4, pp. 172-186
- Qanbari, S.; Li, F.; Dustdar, S.; et al. An Economic Model for Utilizing Cloud Computing Resources via Pricing Elasticity of Demand and Supply. In: *Cloud Computing and Services Sciences*, edited by M. Helfert; F. Desprez; D. Ferguson; F. Leymann; V. Méndez Muñoz, chapter Comunicat, Springer, Cham, 2015, pp. 47-62
- Rogers, O.; Cliff, D. Options, forwards and provision-point contracts in improving cloud infrastructure utilisation. *Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications*, volume 1, no. 21, 2012
- Rogers, O.; Cliff, D. A financial brokerage model for cloud computing. *Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications*, volume 1, no. 2, 2012
- Sharma, B.; Thulasiram, R. K.; Thulasiraman P.; et al. Pricing Cloud Compute Commodities: A Novel Financial Economic Model. In: *2012 12th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGRID 2012)*, pp. 451-457
- Targiel, K. S.; Dynamic programming in the binomial tree structures for real options analysis. In: *2015 6th International Conference on Modeling, Simulation, and Applied Optimization (ICMSAO)*, 2015, pp. 1-4
- Yam, C.-Y.; Baldwin, A.; Shiu, S.; et al. Migration to Cloud As Real Option: Investment Decision Under Uncertainty. In: *2011 IEEE 10th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications, TRUSTCOM'11*, Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2011, ISBN 978-0-7695-4600-1, pp. 940-949

15.2 Příloha B – Výpočet hodnoty flexibility



15.3 Seznam publikací autora

15.3.1 Publikace vztahující se k tématu této práce

Publikace v impaktovaných časopisech:

Nejsou žádné publikace v impaktovaných časopisech.

Publikace v recenzovaných časopisech:

NÁPLAVA, Pavel. Evaluation of Cloud Computing Hidden Benefits by Using Real Options Analysis. *Acta Informatica Pragensia*. 2016, 5(2). ISSN 1805-4951.

NÁPLAVA, Pavel. Cloud computing a reálné opce jako akcelerator začínajících IT technologických firem. *Acta Informatica Pragensia*. 2014, 3(4). ISSN 1805-4951.

Publikace excerpované ISI (Web of Science):

Nejsou žádné publikace excerpované ISI.

Publikace ostatní:

NÁPLAVA, Pavel. Real Options and their Possible Usage in the ICT Investments Planning. In: *POSTER 2013 - 17th International Student Conference on Electrical Engineering*. Prague: Czech Technical University. 2013. ISBN 978-80-01-05242-6.

15.3.2 Ostatní publikace

Publikace v impaktovaných časopisech:

Nejsou žádné publikace v impaktovaných časopisech.

Publikace v recenzovaných časopisech:

HRONZA, R., PAVLÍČEK, J., a NÁPLAVA, P. Míry kvality procesních modelů vytvořených v notaci BPMN. *Acta Informatica Pragensia*. 2015, 4(2), s. 140-153. ISSN 1805-4951.

HRONZA, R., PAVLÍČEK, J., MACH, R. a NÁPLAVA, P. Míry kvality v procesním modelování. *Acta Informatica Pragensia*. 2015, 4(1), s. 18-29. ISSN 1805-4951.

Publikace excerpované ISI (Web of Science):

NÁPLAVA, P. a PERGL, R. Empirical Study of Applying the DEMO Method for Improving BPMN Process Models in Academic Environment [online]. In: *Proceedings of the 17th IEEE Conference on Business Informatics*. 17th IEEE Conference on Business Informatics. Lisabon, 13.07.2015 - 16.07.2015. Piscataway: IEEE Operations Center. 2015, s. 18-26. ISBN 978-1-4673-7340-1.

PAVLÍČEK, J., NÁPLAVA, P., a KOČÍ, J. Emergency escape methodology powered by Businesses process modeling B.H.H.E Methodology. In: *Proceedings of 2014 International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid*. 2014 International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid. Taipei, 23.04.2014 - 25.04.2014. Piscataway: IEEE Operations Center. 2014, ISBN 978-1-4673-6123-1.

NÁPLAVA, P. a ŠNOREK, M. Fuzzy Model of Student's Behaviour Generated by Means of GMDH Algorithms. In: SINČÁK, P., ed. *Intelligent Technologies - Theory and Applications*. Euro-International Symposium on Computational Intelligence. Košice,

16.06.2002 - 19.06.2002. Nieuwe Hemweg: IOS Press. 2002, s. 135-136. ISSN 0922-6389. ISBN 1-58603-256-9.

NÁPLAVA, P. a ŠNOREK, M. Modeling of Student's Quality by Means of GMDH Algorithms. System Analysis Modelling Simulation. 2003, 43(10), s. 1415-1426. ISSN 0232-9298.

Publikace ostatní:

MRÁZ, O., PERGL, R., NÁPLAVA, P. a SKOTNICA, M. Converting DEMO PSI Transaction Pattern into BPMN: A Complete Method. In: Advances in Enterprise Engineering XI. 7th Enterprise Engineering Working Conference. Antwerp, 08.05.2017 - 12.05.2017. Cham: Springer International Publishing. 2017, s. 85-98. ISSN 1865-1348. ISBN 978-3-319-57954-2.

PAVLÍČEK, J., NÁPLAVA, P., a KOČÍ, J. B.H.H.E Emergency prediction research. In: Proceedings of 2014 International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid. 2014 International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid. Taipei, 23.04.2014 - 25.04.2014. Piscataway: IEEE Operations Center. 2014, ISBN 978-1-4673-6123-1.

NÁPLAVA, P., HRONZA, R., KOČÍ, J. a PAVLÍČEK, J. How to Successfully Start the Transformation of an Academic Institution. Case study on the process mapping project at the Czech Technical University. In: Complementary proceedings of the 8th Workshop on Transformation & Engineering of Enterprises (TEE 2014), and the 1st International Workshop on Capability-oriented Business Informatics (CoBI 2014) co-located with the 16th IEEE International Conference on Business Informatics (CBI 2014). The 8th Workshop on Transformation & Engineering of Enterprises. Geneva, 14.07.2014 - 15.07.2014. Aachen: RWTH Aachen University. 2014, s. 1-15. CBI 2014 Workshops: TEE and CoBI. ISSN 1613-0073.

NÁPLAVA, P. Emoce při výchově (nejen) projektových manažerů. In: Sborník anotací příspěvků konference Projektový management. Konference projektový management. Zlín, 25.04.2012 - 26.04.2012. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta multimediálních komunikací. 2012, s. 29-30.

NÁPLAVA, P. a KORDÍK, P. Hybrid Inductive Models: Topology of Model can Reveal much about Problem. In: IWIM 2007 - International Workshop on Inductive Modelling. International Workshop on Inductive Modelling. Praha, 23.09.2007 - 26.09.2007. Praha: Czech Technical University in Prague. 2007, s. 288-293. ISBN 978-80-01-03881-9.

KORDÍK, P., NÁPLAVA, P., ŠNOREK, M. A GENYK-BEREZOVSKEYJ, M. A Modified GMDH Method and Model Quality Evaluation by Visualization. Control Systems and Computers. 2003, 0(2), s. 68-75. ISSN 0130-5395.

NÁPLAVA, P. a ŠNOREK, M. Analysis of Input Data by Means of GMDH Neural Networks. In: International Conference on Inductive Modeling - ICIM 2002. ICIM 2002. Lvov, 20.05.2002 - 25.05.2002. Lviv: State Scientific and Research Institute of Information Infrastructure. 2002, s. 156-162. ISSN 0135-5465.

KORDÍK, P., NÁPLAVA, P., ŠNOREK, M. A GENYK-BEREZOVSKEYJ, M. The Modified GMDH Method Applied to Model Complex Systems. In: International Conference on Inductive Modeling - ICIM 2002. ICIM 2002. Lvov, 20.05.2002 - 25.05.2002. Lviv: State Scientific and Research Institute of Information Infrastructure. 2002, s. 150-155. ISSN 0135-5465.

NÁPLAVA, P. a ŠNOREK, M. System Modelling by Means of GMDH Algorithms. In: ALEXÍK, M., ed. Proceedings of the International Workshop MOSMIC 2001. MOSMIC 2001. Súľov, 09.10.2001 - 10.10.2001. Źilina: University of Źilina. 2001, s. 125-132. ISBN 80-7100-883-4.

NÁPLAVA, P. a ŠNOREK, M. Modelling of Student's Quality by Means of GMDH Algorithms. In: ŠNOREK, M. a KERCKHOFFS, E.J.H., eds. Modelling and Simulation 2001. 15th European Simulation Multiconference. Prague, 06.06.2001 - 09.06.2001. Erlangen: SCS Publishing House. 2001, s. 696-700. ISBN 1-56555-225-3.

NÁPLAVA, P. a ŠNOREK, M. GMDH Neural Network and its Parallel Implementation. In: ALEXÍK, M., ed. Proceedings of the International Workshop Modelling and Simulation in Management, Informatics and Control. MOSMIC'99. Súľov, 05.10.1999 - 07.10.1999. Źilina: Źilinská univerzita. 1999, s. 195-202. ISBN 80-7100-635-1.