

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní
Ústav systémového inženýrství a informatiky

Analýza komplexity procesů

Bc. Žaneta Boruchová

Diplomová práce
2017

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Žaneta Boruchová**
Osobní číslo: **E150038**
Studijní program: **N6209 Systémové inženýrství a informatika**
Studijní obor: **Informatika ve veřejné správě**
Název tématu: **Analýza komplexity procesů**
Zadávající katedra: **Ústav systémového inženýrství a informatiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je analyzovat vybraný reálný proces z hlediska jeho komplexity. Součástí práce bude shrnutí současného stavu nepoužívanějších měř komplexity pro různé typy systémů. Vybrané míry budou prezentovány na reálném procesu. Míry komplexity umožňuje kvantifikovat vlastnosti systému jako např. schopnost porozumět systému či predikovat jeho budoucí stav.

Osnova práce:

- charakteristika nepoužívanějších měř komplexity
- popis vybraného reálného procesu
- aplikace jednotlivých měř komplexity na vybraný reálný proces
- porovnání a prezentace výsledků

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **cca. 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- CARDOSO, J. 2008. Business Process Control-Flow Complexity: Metric, Evaluation, and Validation. International Journal of Web Services Research (IJWSR), 5, 49-76.**
- GONZÁLEZ, L. S., RUBIO, F. G., GONZÁLEZ, F. R. & VELTHUIS, M. P. 2010. Measurement in business processes: a systematic review. Business Process Management Journal, 16, 114 - 134.**
- JUNG, J.-Y., CHIN, C.-H. & CARDOSO, J. 2011. An entropy-based uncertainty measure of process models. Information Processing Letters, 111, 135-141.**
- MCCABE, T. J. 1976. A Complexity Measure. IEEE Trans. Softw. Eng., 2, 308-320.**
- MUKETHA, G. M., GHANI, A. A. A., SELAMAT, M. H. & ATAN, R. 2010. A survey of business process complexity metrics. Information Technology Journal, 9, 1336-1344.**
- WEYUKER, E. J. 1988. Evaluating Software Complexity Measures. IEEE Trans. Softw. Eng., 14, 1357-1365.**

Vedoucí diplomové práce:


Ing. Martin Ibl




Ústav systémového inženýrství a informatiky

Datum zadání diplomové práce: **4. září 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **28. dubna 2017**


doc. Ing. Romana Provázniřková, Ph.D.
děkanka

L.S.


doc. Ing. Pavel Petr, Ph.D.
vedoucí ústavu

V Pardubicích dne 4. září 2016

PROHLÁŠENÍ

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

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

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 28. 4. 2017

Bc. Žaneta Boruchová

PODĚKOVÁNÍ:

Tímto bych ráda poděkovala svému vedoucímu práce, Ing. Martinovi Iblovi, PhD., za jeho odbornou pomoc, cenné rady a poskytnuté materiály, které mi pomohly při zpracování diplomové práce. Dále děkuji své rodině a přátelům za podporu, které se mi dostávalo po celou dobu mých vysokoškolských studií.

ANOTACE

Diplomová práce se věnuje analýze komplexity procesů. Je zaměřena hlavně na obchodní procesy a popisuje míry, pomocí kterých se komplexita měří, vlastnosti, které by měly míry splňovat a co má za následek vysoká komplexita. Dále je popsána komplexita časových řad, pro které je měření rozděleno do tří kategorií. Poslední část se věnuje popisu reálného procesu a měření jeho komplexity pomocí několika popsanych metrik a následnému porovnání výsledků.

KLÍČOVÁ SLOVA

komplexita, proces, obchodní proces, míry komplexity, analýza, control-flow, časové řady

TITLE

Analysis of process complexity

ANNOTATION

This Master Thesis deals with complexity of the processes. Work is focused on business processes, metrics for complexity measurement, describes properties which these metrics should satisfy and what are the consequences of high complexity. The next section describes complexity of time series data and this measurement is divided into the three categories. Last section introduces real process and measuring its complexity with some metrics which have been described and finally comparing the results.

KEYWORDS

complexity, process, business process, metrics, analysis, control-flow, time series data

OBSAH

ÚVOD	10
1 KOMPLEXITA.....	11
1.1 PROCESY A JEJICH KOMPLEXITA.....	12
1.2 KOMPLEXITA OBCHODNÍCH PROCESŮ.....	13
1.3 KOMPLEXITA V INFORMAČNÍCH SYSTÉMECH.....	15
1.4 KOMPLEXITA V ČASOVÝCH ŘADÁCH.....	17
1.4.1 Fraktalita.....	18
1.4.2 Metody odvozené od nelineární dynamiky.....	19
1.4.3 Entropie.....	20
1.5 KOMPLEXITA V PETRIHO SÍTÍCH	21
2 MĚŘENÍ KOMPLEXITY	23
2.1 POHLEDY NA MĚŘENÍ KOMPLEXITY	24
2.2 MÍRY KOMPLEXITY	25
2.2.1 McCabeova cykломatická metrika.....	25
2.2.2 Cardosova control-flow metrika.....	27
2.2.3 Další metriky podle autorů.....	30
2.3 TEORETICKÁ A EMPIRICKÁ VALIDACE METRIK.....	31
3 ANALÝZA REÁLNÉHO PROCESU POSKYTNUTÍ ÚVĚRU.....	35
3.1 MĚŘENÍ KOMPLEXITY REÁLNÉHO PROCESU	37
3.2 ANALÝZA ZMĚN REÁLNÉHO PROCESU	38
3.2.1 Korelační analýza metrik.....	44
3.3 ANALÝZA ZATÍŽENÍ PROCESU	45
ZÁVĚR.....	48
POUŽITÁ LITERATURA	49
SEZNAM PŘÍLOH.....	- 52 -

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Pohledy na měření komplexity.....	25
Tabulka 2: Validace metrik	33
Tabulka 3: Míry komplexity původního procesu a zjednodušených variant.....	42
Tabulka 4: Korelační analýza.....	44

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 1: Model životního cyklu	16
Obrázek 2: Komplexita časových řad.....	18
Obrázek 3: Ukázka control-flow_1	28
Obrázek 4: Ukázka control-flow_2	28
Obrázek 5: Ukázka control-flow_3	29
Obrázek 6: Schéma reálného procesu.....	36
Obrázek 7: Petriho síť reálného procesu	38
Obrázek 8: Schéma fiktivního procesu.....	39
Obrázek 9: Petriho síť fiktivního procesu	40
Obrázek 10: Srovnání komplexity reálného a fiktivního procesu	40
Obrázek 11: Schéma zjednodušeného procesu A.....	41
Obrázek 12: Petriho síť zjednodušeného procesu A	41
Obrázek 13: Schéma zjednodušeného procesu B.....	42
Obrázek 14: Petriho síť zjednodušeného procesu B.....	42
Obrázek 15: Srovnání komplexity původního procesu a zjednodušených variant.....	43
Obrázek 16: Zatížení reálného procesu	45
Obrázek 17: Zatížení zjednodušeného procesu A	46
Obrázek 18: Zatížení zjednodušeného procesu B.....	46
Obrázek 19: Srovnání zatížení původního procesu a jeho zjednodušených variant.....	47

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

AC	Activity Complexity
BAM	Business Activity Monitoring
BPEL	Business Process Execution Language
BPMS	Business Process Management Systems
CC	Cross-Connectivity
CFC	Control-flow Complexity
CI	Complexity Index
CNC	Coefficient of Network Complexity
DFC	Data-flow Complexity
ECaM	Extended Cardoso Metric
ECyM	Extended Cyclomatic Metric
HPC	Halstead-based Process Complexity
ICT	Information and Communication Technologies
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IC	Interface Complexity
IS	Information Systems
IT	Information Technologies
LOC	Lines of Code
MCC	McCabe Complexity
NOA	Number of Activities
NOAC	Number of Activities and Control-flows
NOAJS	Number of Activities, Joins and Splits
RC	Resource Complexity
RE	Restrictiveness Estimator
SM	Structuredness Metric
WfMS	Work-flow Management Systems

ÚVOD

Komplexita je pojem, který je v současné době používán nejen v odborných člancích, ale i v metodikách a standardech používaných k řízení informačních systémů a projektů. Pod pojmem komplexita si lze představit velikost systému, procesu, programu či projektu, množství funkcí a náklady na jejich pořízení, obsluhu a údržbu. V rámci kontextu této práce je komplexita kvantita, která reprezentuje vlastnosti systému, jako jsou například čitelnost, přehlednost, srozumitelnost, použitelnost, modifikovatelnost, jednoduchost implementace nebo predikovatelnost. S rostoucí komplexitou se tyto vlastnosti zhoršují a systém se tak stává komplikovanějším a méně efektivnějším, což se může projevit například zvýšením nákladů spojených s jeho provozem, větším vytížením zdrojů, růstem času a nákladů potřebných na školení a pro podniky to může mít za následek pokles zisku. Různé systémy, nebo jejich části, lze porovnat prostřednictvím kvantifikace komplexity. Pokud systém obsahuje redundanci, lze vytvořit zjednodušené alternativy řešení tak, aby jeho komplexita byla minimální.

Cílem této práce je shrnutí v současnosti nejpoužívanějších měř komplexity pro různé typy systémů/procesů a vybrané míry aplikovat na reálný proces. Nedílnou součástí práce je porovnání vybraných měř komplexity a interpretace výsledků.

První kapitola je zaměřena na komplexitu procesů obecně, dále pak na komplexitu obchodních procesů, komplexitu informačních systémů a na komplexitu v časových řadách a v Petriho sítích. Druhá kapitola se věnuje přístupům k měření komplexity z různých pohledů a je vytvořen přehled nejpoužívanějších měř komplexity, rozdělený podle autorů, kteří je navrhli. Důležitá je teoretická a empirická validace metrik související s vlastnostmi, které by měly míry splňovat a v tabulce je shrnuto, zda popsané metriky validací prošly či nikoliv. Třetí kapitola se týká analýzy reálného procesu poskytnutí úvěru a jsou použity některé z popsaných metrik, pro určení jeho komplexity. Použité metriky jsou posouzeny pomocí korelační analýzy. Dále je zkoumáno zatížení procesu v případě, že ho bude využívat více uživatelů zároveň, k čemuž je využito modelování pomocí Petriho sítí. Na závěr je navrženo možné zjednodušení tohoto procesu a ukázáno, jaký to má vliv na jeho komplexitu a zatížení.

1 KOMPLEXITA

Pojem komplexita se stává jedním z nejdůležitějších pojmů současné vědy a znamená komplikovanost či složitost nějakého systému. Takový systém je těžko uchopitelný, nepřehledný, není snadné ho pochopit a modifikovat a je těžko použitelný. Komplexní systém je systém složený ze vzájemně propojených částí, které jako celek vykazují jednu nebo více vlastností, které nejsou jasně viditelné z vlastností jednotlivých částí. Tato charakteristika každého systému se nazývá emergence a platí pro jakýkoliv systém, ne jen pro ty komplexní. U komplexního systému nejde o počet prvků, ale o jejich propojení, hustotu sítě. Důsledkem rostoucí komplexity je větší složitost systému, která způsobuje například jeho horší čitelnost, srozumitelnost či použitelnost. [14] [19]

Komplexita se vztahuje k vnitřní, tedy implicitní povaze systému, která se dotýká jak vlastností interagujících komponent, tak povahy jejich interakce. Komplexita systému zahrnuje takové aspekty, jako je neurčitost, fluktuace, singularita, vnitřní dynamika, konektivita a další. Varieta je míra komplexity v systému, definovaná jako počet možných stavů. [22]

Deskriptivní komplexita je to, jak se systém jeví pozorovateli, který stojí vně, obvykle se jedná o statické pohledy. Přirozená komplexita je vnitřní, skutečnou záležitostí systému a formuje podstatu systému. Oba typy komplexity jsou spojeny s informací, jak informace nutná k popsání systému, tak informace k objasnění neurčitosti, jež jsou v ní zakotvené. Tyto dvě komplexity se dostávají do vzájemného konfliktu. Jestliže chceme omezit jednu z nich, pak druhá pravděpodobně roste nebo v nejlepším případě zůstává stejná. Tato vzájemná výměna je jedním z nejvýznamnějších metodologických východisek systémové vědy. [22]

Podle systémového přístupu jsou aspekty komplexity [22]:

- Množství prvků a vazeb mezi nimi: mechanistické pojetí (kombinační exploze).
- Rekurzivní vztahy: systém nezávisí na jen na vstupních podnětech, ale i na minulém vývoji.
- Dynamické pojetí a synergie: paralelní procesy a jejich synchronizace.
- Interakce: vzájemné ovlivňování procesů a skutečnost, že malé (zanedbávané, jedinečné, neznámé) podněty (příčiny) přinášejí zásadní a nevratné změny (tzv. efekt motýlích křídel).

- Neurčitost a fluktuace: systémy nejsou deterministické, ale udržují vzory „pattern“ (v sociálních systémech to souvisí se svobodou a tvořivostí).

Také se ale může jednat o systémy, o kterých nevíme jak fungují, nelze identifikovat jejich prvky ani vazby a pak je použitelnost systémového přístupu omezená. Příkladem jsou právě komplexní systémy. [22]

Podmínky ke vzniku komplexity [14]:

- nevratnost prostředí, v němž se komplexita realizuje;
- nelinearita procesů, vedoucích ke komplexitě;
- velká vzdálenost stavů soustavy, v níž komplexita existuje, od rovnovážného stavu.

1.1 PROCESY A JEJICH KOMPLEXITA

Podnikový neboli obchodní proces je tok práce nebo činností, představující dynamickou komponentu systému. Každá organizace je v podstatě organizovaná soustava procesů a činností, které na sebe vzájemně navazují, vzájemně interagují, probíhají napříč organizačními jednotkami, reagují na různé podněty z vnitřního i vnějšího prostředí. V procesech se transformují vstupy a zdroje na výstupy, které zhodnocuje zákazník procesu. Procesy existují uvnitř každé organizace i mezi nimi. Vždy dochází k nějakému toku práce a činností od jednoho člověka k druhému. [20]

Základní kostrou procesů je tvorba hodnoty nebo užítku pro zákazníky organizace. Nejobvyklejší dělení procesů je tedy podle toho, kdo je jejich zákazníkem a podle přidané hodnoty, kterou mu přinášejí. Zákazníkem procesu může být zákazník firmy, její zaměstnanec nebo manažer. Procesy v organizaci se rozdělují na hlavní, podpůrné a řídicí. Hlavní procesy vytvářejí hodnotu nebo užitek pro zákazníka organizace, tedy výrobek nebo službu a dále se dělí na procesy klíčové. Podpůrné procesy jsou všechny procesy, jejichž jediným cílem je zajistit fungování hlavních procesů a organizace. Řídicí procesy a činnosti jsou všechny aktivity, které koordinují, řídí, organizují a plánují vše ostatní. [20]

Podnikové procesy mají vlastní komplexitu, která, pokud není kontrolována, se může nadále zvyšovat s časem, čímž jsou procesy náchylné k chybám, těžké k pochopení a údržbě. V posledních letech, několik vědců navrhlo několik metrik, které mohou být použity k měření, a tím k řízení složitosti obchodních procesů. [25]

Pro komplexitu procesu existuje několik definic, z nichž je jako nejvhodnější uváděna definice podle IEEE, která definuje komplexitu procesu jako stupeň, jak je proces obtížné

analyzovat, pochopit nebo vysvětlit. Může být charakterizována komplexitou rozhraní činnosti, přechody, podmíněnými a paralelními větvemi, existencí smyček, rolí, kategoriemi činností, typy datových struktur a dalšími charakteristikami procesu. [1]

Procesy nejsou statické. Neustále prochází revizí, adaptací, změnou a úpravami pro splnění potřeb koncových uživatelů. Komplexita těchto procesů a jejich kontinuální vývoj velmi ztěžují to, aby byla zajištěna jejich stabilita a spolehlivost. [1]

Za jednoduché míry komplexity lze považovat například velikost či délku procesu. [25]

Velikost procesu je charakterizována následujícími třemi vlastnostmi [25]:

- velikost procesu je nezáporná;
- velikost procesu je nulová v případě, že je proces prázdný;
- velikost procesu se rovná součtu velikostí dvou svých modulů tak, že jakýkoli prvek procesu je buď prvním, nebo druhým modulem.

Délka procesu je charakterizována pěti vlastnostmi [25]:

- délka procesu, nemůže být negativní, ale může být nulová, pokud proces nemá žádné prvky;
- délka procesu je nulová v případě, že je proces prázdný;
- přidání vztahů, mezi prvky připojených komponent procesu, nezvyšuje délku procesu;
- přidání vztahů z prvků dvou samostatných připojených komponent procesu, nesnižuje délku procesu;
- délka procesu, který se skládá ze dvou disjunktních modulů, se rovná maximu z délek dvou modulů.

1.2 KOMPLEXITA OBCHODNÍCH PROCESŮ

Organizace se stále častěji potýkají s problémem řízení obchodních procesů, pracovních postupů a v poslední době s webovými procesy. Jedním z důležitých aspektů obchodních procesů, který byl přehlížen, je jejich komplexita. Vysoká komplexita procesů může mít za následek špatnou srozumitelnost, chyby, vady a výjimky, což vede k tomu, že procesy potřebují více času na vyvíjení, testování a udržování. Z tohoto důvodu je potřeba se přílišné komplexitě vyhnout. Měření obchodních procesů je úkolem empirického a objektivního

přiřazování čísel, vzhledem k jejich vlastnostem a to takovým způsobem, aby je popsaly. Žádoucí atributy zahrnují komplexitu, náklady, udržovatelnost a spolehlivost. Metriky jsou hodnoceny teoretickou validací, z hlediska Weyukerových vlastností, aby bylo zaručeno, že je použitá metrika konzistentní a efektivní a dále empirickou validací. [1]

Systémy řízení podnikových procesů, označované jako BPMS, poskytují základní infrastrukturu pro definování a správu obchodních procesů. BPMS, jako jsou systémy řízení pracovních postupů, se staly vážným konkurenčním faktorem pro mnoho organizací, které se stále častěji potýkají s problémem v oblasti řízení obchodních aplikací, pracovních postupů, webových služeb a webových procesů. [6] [30]

Podnikové procesy slibují zmírnění několika současným výzvám v oblasti infrastruktury, jako jsou data, aplikace a integrace procesů. Se vznikem webových služeb, se systém řízení pracovních postupů work-flow stává zásadní pro podporu, správu a příjem postupů, a to jak mezi podniky tak v rámci podniku. [29]

Proces měření, představuje řadu přístupů ke kvantifikaci specifických vlastností procesů. Důležité vlastnosti pro analýzu zahrnují odhad složitosti, vady, velikosti procesu, úsilí o testování, úsilí údržby, srozumitelnost, čas, zdroje a kvalitu služeb. Efektivní řízení každého procesu vyžaduje modelování, měření a kvantifikaci. Proces měření se zabývá odvozováním číselné hodnoty pro atributy procesů. Měření mohou být použita ke zlepšení produktivity a kvality procesů. Navrhování a zlepšování procesů je klíčovým aspektem, aby podniky zůstaly konkurenceschopné na dnešním trhu. Organizace jsou nuceny ke zlepšování jejich obchodních procesů, protože zákazníci požadují lepší produkty a služby. [1]

Pro dosažení účinného řízení, je jednou ze základních oblastí výzkumu, kterou je třeba prozkoumat, analýza složitosti procesů. Obchodní proces se skládá z řady aktivit, úkolů nebo služeb, které dohromady vedou k dosažení konečného cíle. Vysoká komplexita procesu může mít za následek omezenou srozumitelnost s více chybami, vadami a výjimkami, což vede k tomu, že procesy potřebují více času k vyvíjení, testování a udržování. [1]

Například v softwarovém inženýrství bylo zjištěno, že programové moduly s vysokým indexem komplexity mají vyšší četnost poruch. Z tohoto důvodu je třeba se nadměrné komplexitě vyhnout. Například kritické procesy, ve kterých může mít selhání za následek ztráty na lidských životech, vyžadují jedinečný přístup k rozvoji, implementaci a správě. U těchto typů procesů, typicky nalezených ve zdravotnických aplikacích, jsou důsledky v případě selhání závažné. Schopnost produkovat procesy s vyšší kvalitou a nižší komplexitou je věcí vytrvalosti. [5] [17]

1.3 KOMPLEXITA V INFORMAČNÍCH SYSTÉMECH

Růst komplexity informačních a komunikačních technologií, označovaných zkratkou ICT, je jednou z největších výzev současnosti. ICT jsou dnes nejen integrální součástí všech větších podniků a institucí, ale ovlivňují i běžný život moderního člověka v mnoha směrech. Zajistit optimální komplexitu vyžaduje nejen dobře rozumět podnikové a informační architektuře, ale i rozpoznat mechanismy vedoucí k jejímu vzniku. [13]

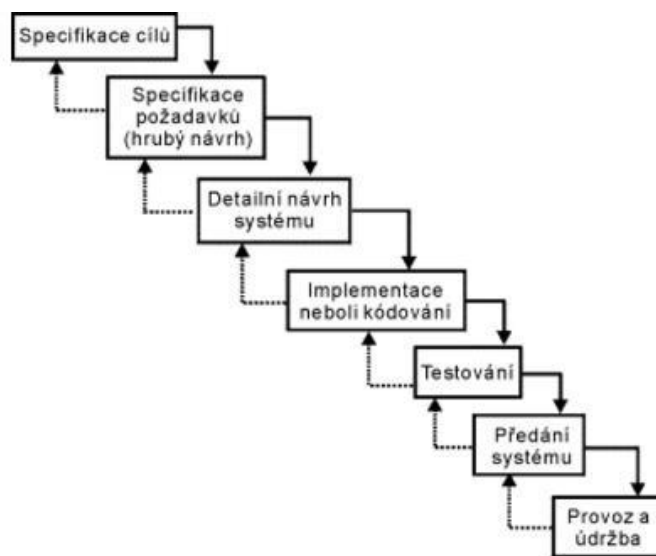
Existují dva protikladné systémové přístupy, které se využívají v teorii řízení. Jedná se o holismus, který zkoumá systém jako celek a o redukcionismus, který omezuje zkoumání systému na poznání jeho klíčových částí. Příkladem holismu jsou princip emergence a princip synergie. Příkladem redukcionismu je koncept kritických faktorů úspěchu. Oba zmíněné přístupy kombinuje systémový přístup. [21]

V oblasti řízení informatiky přinášejí komplexní systémy na jedné straně výhodu tehdy, když dokážou vhodně podporovat všechny procesní varianty a uspokojovat i náročné požadavky zákazníků nebo uživatelů a poskytnout podniku konkurenční výhodu na trhu. Na druhé straně je to vykoupeno vyššími pořizovacími náklady, vyššími náklady na údržbu, změny a rozhraní s jinými systémy. Je tedy důležité, aby byl informační systém natolik sofistikovaný, aby dokázal efektivně pokrýt maximum podnikových požadavků, ale současně je nutné, aby neobsahoval komplexitu nad rámec těchto požadavků. [12]

Vývoj informačního systému, tedy životní cyklus IS, se skládá z těchto fází [9]:

- předběžná analýza neboli specifikace cílů;
- analýza systému neboli specifikace požadavků;
- projektová studie neboli návrh;
- implementace, která je vlastním programováním;
- testování, kdy se zkouší veškeré možné reakce systému na zadávaná data a opravují se zjištěné nedostatky;
- zavádění systému, tedy jeho instalace;
- zkušební provoz;
- rutinní provoz a údržba;
- reengineering, kdy jsou přehodnoceny požadavky na systém a pokud je nelze splnit pouhou úpravou, dochází k návratu na začátek životního cyklu.

Mezi klasické modely životního cyklu patří model vodopád, který ukazuje Obrázek 1, kde se jednotlivé etapy provádějí postupně, navazují na sebe a vzájemně se neprotínají. Dokončená etapa je vstupem do etapy následující a zpětně se k nim nevrací. [9]



Obrázek 1: Model životního cyklu

Zdroj: [9]

Každý proces v podniku přináší nutnost nejen definovat a sledovat jeho metriky, ale musí mít i svého vlastníka. Personální i časové náklady tedy rostou s každým přidaným procesem. Typická tabulka v databázi informačního systému obsahuje zpravidla data historická, převzatá z minulého, někdy i předminulého informačního systému, data aktuální odpovídající momentálnímu nastavení procesů a je třeba počítat s tím, že další data přibudou v budoucnosti. Již tento fakt znamená určitou náročnost pro osobu odpovědnou za kvalitu těchto dat a s tím spojené personální náklady. Každé další datové úložiště znamená nárůst těchto nákladů. V případě úložišť s velkým množstvím dat přicházejí i další náklady na jejich archivaci, optimalizaci a rozšiřování databáze a rizika zpomalení odezvy informačního systému. [12] [26]

Organizační struktura podniku, často definovaná zbytečně složitě již v globální podnikové strategii bez znalosti technologických aspektů, vede k nárůstu komplexity v dalších fázích vývoje a implementace informačního systému. V dalších fázích s sebou přinese nárůst struktury dat, nese riziko vzniku jejich redundancí a klade nároky na design, implementaci a údržbu systému rolí a oprávnění. Softwarová komplexita informačního systému přináší rizika a náklady nejen během provozu a údržby, ale zejména v okamžiku realizace změnových požadavků, při propojování s dalšími systémy, změnami dodavatelů IT služeb a v neposlední

řadě při vyřazení dotyčného a přechodu na nový informační systém. Složitost hardwarové dimenze znamená nejen náklady na jeho pořízení nebo pronájem, ale zejména náklady spojené s jeho administrací, provozem a údržbou, které se stoupající komplexitou rovněž rostou. [12] [26]

Struktura a ergonomie uživatelského rozhraní má přímý vliv na efektivitu práce uživatele. Designer nebo programátor si často neuvědomuje, že když aplikace sestává místo z jedné ze tří obrazovek znamená to pro uživatele místo dvou kliknutí šest. U málo používaných aplikací to zpravidla nehraje roli, ale pokud se jedná o aplikaci, se kterou v daném podniku pracuje osm hodin denně deset lidí, znamená to pro ně ztrojnásobení práce. Dopady na efektivitu jsou zřejmé. [12]

Je tedy nezbytné komplexitu informačních systémů řídit, protože v opačném případě roste a s ní rostou podniku náklady a rizika a snižuje se efektivita. Komplexitu v informačních systémech je obtížné snižovat. Proto je hlavní metodou, pro zachování optimální komplexity, nedopustit její zvyšování. A to jak během návrhu a vývoje informačního systému, tak během jeho provozu a údržby. Optimální komplexita informačního systému je nejnížší možná komplexita. [12]

1.4 KOMPLEXITA V ČASOVÝCH ŘADÁCH

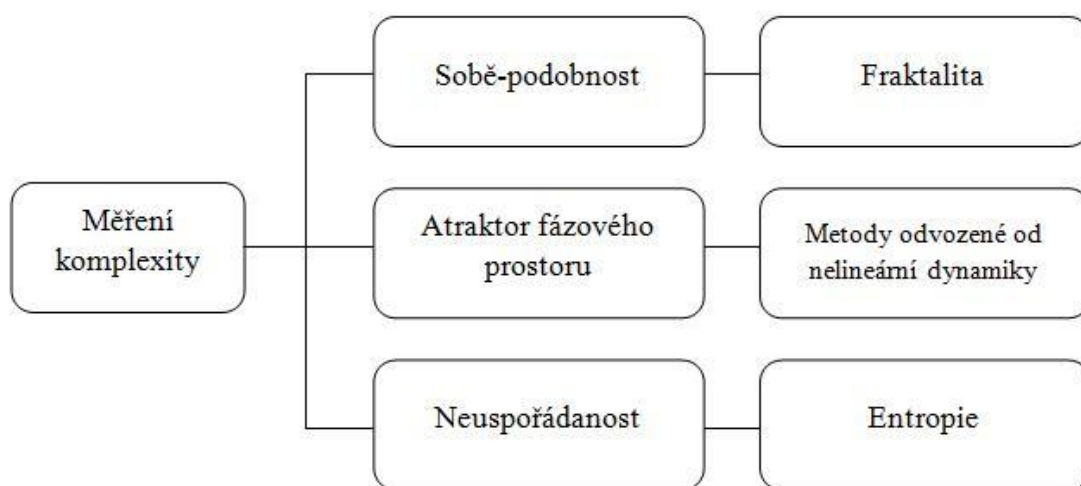
Komplexita může být považována za jedno z nejdůležitějších měření v analýze údajů časové řady, protože pokrývá či úzce souvisí s dalšími charakteristikami dat, v rámci nelineární teorie systémů. Charakteristiky dat časové řady typicky reprezentují stacionaritu, linearitu, komplexitu, chaos, fraktalitu, cykličnost, sezónnost, mutaci, náhodnost a další. [10]

Na jedné straně může komplexita poskytnout další jasný popis pro různé nelineární charakteristiky, které snaží popsat vnitřní strukturu dynamiky cílových dat, pro které komplexita představuje obecný kvantitativní odhad. Obecně platí, že vyšší úroveň komplexity naznačuje komplikovanější, neuspořádaný, nepravidelný dynamický systém. Na druhé straně, charakteristická komplexita také určuje vlastnosti různých vnitřních faktorů a jejich vzájemný vztah. Komplexita nižší úrovně označuje větší dopad nebo upravující výkon pravidelných faktorů nebo vnitřních předpisů na celý dynamický systém. Z tohoto důvodu se stává komplexita stále více dominantním odhadem v analýze dynamiky časových řad a to zejména u ekonomických údajů, k vyhodnocení efektivnosti trhu a fyzikálních a biologických údajů, k zachycení skrytých pravidel. Ve skutečnosti jsou komplexní systémy zvláštními případy nelineárních systémů a většina přírodních systémů jsou komplexní systémy. [10]

Obecně platí, že komplexita nižší úrovně znamená, že pozorovaný systém s větší pravděpodobností dodržuje deterministický postup, který může být zachycen a predikován. Zatímco komplexita vyšší úrovně představuje méně pravidelné postupy řízení datové dynamiky, které by jinak byly nepředvídatelné a obtížné k pochopení. [10]

Jak ukazuje Obrázek 2, podle různých funkcí lze rozdělit měření komplexity pro data časové řady do tří základních kategorií [10]:

- fraktalita pro sobě-podobnost: mono a multi fraktalita;
- metody odvozené od nelineární dynamiky pro vlastnosti atraktoru fázového prostoru;
- entropie pro popis neuspořádanosti nelineárního systému: strukturální a dynamická entropie.



Obrázek 2: Komplexita časových řad

Zdroj: upraveno podle [10]

Každá kategorie má tendenci popisovat dynamický systém dat časové řady z jiného úhlu pohledu. I když mají různé zaměření, jsou tyto tři skupiny úzce spojeny nebo dokonce na sobě navzájem závislé. Zejména slabší sobě-podobnost měřena pomocí fraktality, složitější struktura atraktoru měřena pomocí metod odvozených od nelineární dynamiky a vyšší úroveň poruchy stavu systému měřena přes entropii konzistentně ukazují, že data zaznamenaná časovou řadou jsou na vyšší úrovni komplexity. [10]

1.4.1 Fraktalita

Pojem fraktální pochází z latinského jazyka a znamená nepravidelný nebo fragmentovaný. Teorie fraktality se zaměřuje především na sobě-podobnost nebo na systémovou paměť,

případně na dlouhodobou vytrvalost, na základě analýzy metrického měřítka chování datového systému. [10]

V analýze fraktality jsou zahrnuty dva hlavní faktory a to odstranění trendu, pro popis kolísání dat časových řad a exponent škálování, pro odhad chování škálování. Stávající měření fraktality lze obecně rozdělit na mono a multi fraktální analýzu. Zatímco mono fraktální analýza popisuje globální strukturu dynamických časových řad, multi fraktální analýza zkoumá systém dat z pohledu místních struktur. [31]

Techniky testování fraktality byly široce používány pro analýzu ekonomických dat, zejména pro vyhodnocení efektivnosti trhu. Fraktalita je široce využívána, jako jedno z užitečných opatření pro systémovou paměť nebo dlouhodobou vytrvalost různých dat časových řad. Při porovnání mono fraktality s multi fraktalitou, jsou měření mono fraktality relativně jednoduchá, vyšetřují data z celého pohledu systému, zatímco metody multi fraktality mohou poskytnout mnohem více informací rozdělením komplexních systémů do subsystémů. Proto většina dosavadních studií, zejména těch, které zahrnují analýzu ekonomických dat, preferuje multi fraktalitu pro úplný popis trhu. [31]

1.4.2 Metody odvozené od nelineární dynamiky

Metody odvozené od nelineární dynamiky zkoumají údaje z časových řad, založených především na teorii chaosu. Pojem chaos popisuje zdánlivě nepředvídatelné chování poháněné různými interaktivními vnitřními faktory, které skutečně dodržují určité vnitřní předpisy, ale jsou velmi citlivé na změnu v počátečních podmínkách. Vzhledem k těmto vlastnostem, může být chaotické chování předvídatelné v krátkodobém horizontu, ale nepředvídatelné v dlouhodobém horizontu. [16]

Pro data časové řady, se citlivost na změnu v počátečních podmínkách testuje na základě rekonstrukce fázového prostoru zkoumáním fázového atraktoru. V chaotickém procesu poháněném vnitřní silou, se bude dynamický systém vyvíjet směrem k určitému stavu nebo chování. Na bázi rekonstrukce fáze prostoru mohou být stavy systému reprezentovány body m -rozměrného prostoru a dynamický vývoj systému se odkazuje na řadu po sobě následujících stavů nebo vektorů. [16]

Po dostatečně dlouhé době, se nakonec budou stavy datového systému sbíhat směrem k sub-prostoru nebo konkrétní množině bodů a takový sub-prostor může být definován jako atraktor systému, protože je přitahuje trajektorie, to znamená linie spojující po sobě následující stavy ve fázovém prostoru, ze všech možných počátečních podmínek. [16]

Kromě toho metody odvozené od nelineární dynamiky odhadují stav komplexity dynamických systémů, a to zejména prostřednictvím zkoumání struktury atraktoru. Atraktor je nástrojem pro popis chování chaotického systému v prostoru a čase. Pokud je atraktor citlivý na počáteční podmínky, nazýváme ho traktorem podivným a míru jeho komplexity určuje fraktální dimenze. [16] [19]

Fázový portrét je nejjednodušší a nejvíce typický nástroj. Je to dvou nebo tří rozměrný graf stavu systému a atraktoru ve fázovém prostoru, ve kterém je znázorněna trajektorie, představující spojnicí po sobě jdoucích stavů systému. Z fázového portréту, může být přímo identifikována struktura atraktoru, na jehož základě může být přibližně zkoumána složitost stavu systému. Fázový portrét, s jednoduchou reprezentací, může být vhodný pouze pro nižší dimenzionální atraktory a neefektivní pro struktury s vyšší komplexitou. [16]

1.4.3 Entropie

Entropie je informační veličina pro vyhodnocení neuspořádanosti dynamických systémů. Obecně platí, že velké hodnoty entropie odkazují na systém s vysokou úrovní neurčitosti. Pro jasné znázornění, může být entropie normalizována na rozmezí $[0,1]$. Stávající entropie mohou být rozděleny do dvou kategorií, strukturální entropie a dynamické entropie. [10] [28]

Strukturální entropie měří komplexitu struktury z hlediska koncentrace energie, tj. jak koncentrací (nebo rozšířením) rozložení výkonového spektra časové řady transformovat pozorovaná data z časové oblasti do frekvenční nebo časově-frekvenční oblasti pro další analýzu. Koncentrace frekvenčního spektra odpovídá nízké hodnotě entropie, což naznačuje nízkou úroveň komplexity dynamického systému. V kontrastu s tím, pro vysoce komplexní systém lze nalézt ve frekvenční oblasti odpovídající široké pásmo. Proto strukturální entropie zahrnuje dva hlavní kroky, transformaci domény (transformace pozorovaných dat z časové oblasti do frekvenční nebo časově-frekvenční oblasti, pro získání výkonového spektra) a odhad entropie (vyšetření koncentrace). [16] [28]

Dynamická entropie prozkoumává komplexitu systému z hlediska podobnosti změn mezi vnitřními vzory v dynamických datech, pokud jde o podmíněnou pravděpodobnost, že dvě sekvence nebo vzory musí být vzájemně podobné jako předchozí, když se vkládání dimenze fázového prostoru zvyšuje. Matematicky může být dynamická entropie obecně definována jako záporný přirozený logaritmus podmíněné pravděpodobnosti a větší hodnota znamená vyšší úroveň komplexity časové řady s nižší pravděpodobností, že podobnost se nemění při vkládání vyšší dimenze (nebo s vyšší pravděpodobností, že podobnost se mění). [16] [28]

Existují četné studie o analýze časových řad, které používají metody založené na entropii, mnohé z nich jsou v oblasti výzkumu ekonomie, vědy o životě, vědy o Zemi, strojírenství a tak dále. Entropie byla široce používána pro ekonomické analýzy dat ke kvantifikaci efektivity různých trhů. Protože entropie může přímo odrážet stav komplexity s jednoduchým procesem výpočtu, tak je tato kategorie poněkud široce používána, oproti fraktalitě a metodám odvozených z nelineární dynamiky. Nicméně, měření entropie může zanedbat nelineární dynamiku datových systémů. [28]

1.5 KOMPLEXITA V PETRIHO SÍTÍCH

Petriho síť představuje matematický nástroj, pro modelování a simulaci diskrétních dynamických systémů řízených událostmi a skládá se z míst, přechodů a orientovaných hran, spojujících místa a přechody. Místa mohou obsahovat značky, které se nazývají tokeny. Počet tokenů na daném místě udává aktuální stav systému. Přechody představují možné aktivity, které mohou měnit stav systému. Přechody přesouvají tokeny ze vstupních míst do výstupních. Petriho sítě poskytují vizuální metodu zkoumání vlastností systému. [7]

Postupně byly vytvořeny následující typy Petriho sítí [7]:

- Condition / Event Petriho síť, označované jako C/E;
- Place / Transition Petriho síť, označované jako P/T;
- P/T Petriho síť s inhibičními hranami;
- P/T Petriho síť s prioritami;
- časované Petriho síť, označované jako TPN;
- barevné Petriho síť, označované jako CPN;
- hierarchické Petriho síť, označované jako HPN.

Petriho síť typu P/T, která bude využita při analýze reálného procesu, je tvořena místy, přechody, orientovanými hranami, kapacitou, váhou a počátečním značením sítě. Místa jsou graficky znázorněna kroužkem a přechody obdélníkem. Orientované hrany směřují buď od místa k přechodu, nebo od přechodu k místu. Kapacita místa udává maximální počet tokenů, které se mohou v místě v jeden okamžik nacházet. Váha hrany uvádí, kolik tokenů se při provedení přechodu po dané hraně přesouvá. Počáteční značení sítě je dáno počtem tokenů v jednotlivých místech sítě. [7]

Komplexita, počítaná pomocí Petriho sítí, je vyjádřena entropií a reprezentuje neurčitost systému. Čím větší je hodnota entropie, tím větší je komplexita modelu. [7]

V případě analýzy reálného procesu, viz sekce 3, je pro výpočet entropie využit program přiložený na CD-ROM, který poskytl vedoucí práce.

2 MĚŘENÍ KOMPLEXITY

Analyzovat komplexitu ve všech fázích vývoje životního cyklu procesů, pomáhá vyhnout se nevýhodám spojeným s vysokou komplexitou procesů. V současné době organizace nepřijaly metriky komplexity jako součást svých projektů procesního řízení. V důsledku toho mohou být jednoduché procesy navrženy zbytečně složitě. [4]

Použití analýzy komplexity pomáhá konstruovat a zavádět procesy a pracovní postupy, které jsou více jednoduché, spolehlivé a robustní. Hlubková analýza je nutná pro napravení vad v částech procesů s vysokou komplexitou. [1]

Existují tři otázky, které jsou často kladeny, při měření komplexity nějakého procesu [18]:

- Jak těžké je proces popsat?
- Jak těžké je proces vytvořit?
- Jaký je stupeň organizovanosti?

Měření komplexity lze seskupit do následujících kategorií podle toho, na kterou otázku se snaží nalézt odpověď [18]:

- obtížnost popisu, typicky měřena v bitech, kam patří například informace, entropie, algoritmická komplexita, minimální délka popisu, Fisherova informace, Renyiova entropie, délka kódu, Chernoffova informace, Lempel-Zivova komplexita, dimenze a fraktální dimenze;
- obtížnost vytvoření, pracující s časem, měnou nebo energií, kam patří například výpočetní komplexita, časová výpočetní komplexita, prostorová výpočetní komplexita, komplexita založená na informacích, logická hloubka, termodynamická hloubka a náklady;
- stupeň organizovanosti, který může být rozdělen na obtížnost popisu organizační struktury a na množství informací rozdělených mezi části systému, jako výsledek této organizační struktury. Do této kategorie patří například stochastická entropie, sofistikovanost, efektivní míra komplexity, skutečná míra komplexity, ideální komplexita, hierarchická komplexita, délka schématu, homogenní komplexita, gramatická komplexita, algoritmus vzájemné výměny informací, kapacita kanálu nebo korelace.

2.1 POHLEDY NA MĚŘENÍ KOMPLEXITY

Měření má dlouhou tradici a je základní disciplínou v jakémkoli typu strojírenství (inženýrství). Technici musí být zkušení v odhadech a oceňování, což znamená pochopení činností a rizik spojených s vývojem procesu, prognózování a řízení činností, řízení rizik, spolehlivé doručení a proaktivní řízení, aby se zabránilo krizi. [11]

Neexistuje jediná metrika, kterou by byla komplexita procesu měřena. Jednu z nejpropracovanějších metodologií na analýzu komplexity procesů vytvořil Cardoso [1], kde jsou identifikovány čtyři hlavní pohledy na míry komplexity a to komplexita činností, označená jako AC, komplexita řízení toku, dále nazývanou control-flow, komplexita datového toku, označená jako DFC a komplexita zdrojů, označená jako RC. [1]

Komplexita AC jednoduše počítá množství činností, které proces má. I když je tato metrika velmi jednoduchá, je důležité, aby doplňovala ostatní formy komplexity. Zatímco control-flow komplexita může být velmi nízká, komplexita AC může být velmi vysoká. Například sekvenční proces, který má tisíc činností má komplexitu control-flow 0, zatímco jeho komplexita AC je 100. [15]

Komplexita control-flow je ovlivněna konstrukcí procesu. Je potřeba brát v úvahu existenci XOR, OR a AND operátorů. [4]

Komplexita DFC se zvyšuje se složitostí datových struktur, počtem formálních parametrů činností a mapováním mezi údaji činností. Metrika může být složena z několika submetrik, které zahrnují komplexitu dat, komplexitu rozhraní, a komplexitu integračního rozhraní. Zatímco první dvě submetriky se týkají statických aspektů dat, třetí metrika má dynamičtější povahu a je zaměřena na datové závislosti mezi různými činnostmi procesu. [27]

Komplexita RC se týká činností v procesu, které potřebují přístup ke zdrojům. Zdroj je definován jako jakýkoliv subjekt (např. lidské zdroje, IS zdroje, IT zdroje), který činnost požaduje během provádění, jako je například dokument, databáze, tiskárna, externí aplikace nebo role. [8]

Zdroje mohou být strukturovány do kontextu organizace. Struktura, která se používá k formování různých druhů zdrojů, může být analyzována pro stanovení jeho složitosti. Tato analýza může pomoci manažerům snížit administrativní náklady a optimalizovat využití zdrojů. [8]

Pohledy na měření komplexity shrnuje Tabulka 1.

Tabulka 1: Pohledy na měření komplexity

Komplexita	Charakteristika
Komplexita činností AC	počet aktivit
Komplexita řízení toku control-flow	AND, OR a XOR rozdělovače a spoje, přechody, počáteční a koncový bod
Komplexita datového toku DFC	datové struktury, rozhraní
Komplexita zdrojů RC	lidské zdroje, IT zdroje, IS zdroje

Zdroj: upraveno podle [1]

2.2 MÍRY KOMPLEXITY

Grafické znázornění procesu specifickými jazyky poskytuje uživateli schopnost rozpoznat komplexní oblasti procesu. Je důležité vyvinout metody a měření, která automaticky identifikují komplexní procesy a komplexní oblasti procesů. Potom, tyto procesy mohou být přepracovány tak, aby snížili komplexitu souvisejících činností. Jedním z klíčů k redesignu je dostupnost metrik, které charakterizují komplexitu a poskytují návod pro restrukturalizaci procesů. [1]

V následujících kapitolách jsou popsány konkrétní míry komplexity, rozdělené podle svých autorů, kdy podrobněji je popsána McCabeova cyklomatická míra komplexity, označována jako MCC a Cardosova control-flow metrika označována jako CFC. Zatímco cyklomatická komplexita přiřadí stejnou sémantiku do všech rozhodovacích uzlů, control-flow rozlišuje různé uzly, různou sémantiku. [1]

2.2.1 McCabeova cyklomatická metrika

Rozumná adaptace a využití této metriky při vývoji a údržbě aplikací procesu může mít za následek lepší kvalitu a udržitelnost. Na základě MCC byla navržena metrika komplexity control-flow, která se používá při návrhu procesů. [23]

Tato metrika je vybrána pro svoji spolehlivost při měření komplexity a jejím autorem je McCabe [23]. Od svého vývoje byla MCC jedna z nejpřijatelnějších softwarových metrik. Výsledná báze empirických poznatků umožnila vývojářům softwaru kalibraci měření vlastního softwaru a dospět k nějakému porozumění jeho komplexity. [23]

Softwarové metriky se často používají pro získání kvantitativního vyjádření komplexity programu. Nelze je zaměňovat s mírami pro komplexitu algoritmů, jejichž cílem je porovnat výkon algoritmu. Bylo zjištěno, že softwarové metriky jsou užitečné při snižování nákladů na údržbu software, přiřazením číselné hodnoty, která odráží snadnost nebo obtížnost, se kterou může být programový modul pochopen. [24]

MCC je měřítko počtu lineárně nezávislých cest v programu. Úmyslem je nezávislost na jazyku a formátu jazyka. MCC nese údaj o komplexitě toku řízení programu. Z grafu reprezentace ovládání modulu bylo zjištěno, že MCC je spolehlivým ukazatelem komplexnosti ve velkých softwarových projektech. [24] [33]

Tato metrika je založena na předpokladu, že komplexita programu se vztahuje k počtu kontrolních cest v rámci programu. Například, deseti řádkový program s deseti příkazy přiřazení je srozumitelnější, než deseti řádkový program s deseti if-then příkazy. [23] [24]

MCC je definována pro každý modul jako $e - n + 2$, kde e a n je počet hran a uzlů v grafu control-flow. Tyto grafy popisují logickou strukturu softwarových modulů. Uzly představují výpočetní příkazy nebo výrazy a hrany představují předání řízení mezi uzly. Každá možná realizovatelná cesta softwarového modulu má odpovídající cestu od vstupního do výstupního uzlu control-flow grafu modulu. [23] [24]

Při použití McCabeovi metriky limit 10 ukazuje jednoduchý program bez velkého rizika, hodnota mezi 11 až 20 označuje složitější program s mírným rizikem a hodnota mezi 21 až 50 označuje složitý program s vysokým rizikem. [23]

Hlavním cílem je vytvořit metriku, která by mohly být použita stejným způsobem jako MCC, ale pro zhodnocení komplexity procesu, ne programu. Důležitým poznatkem je, že graf programu je velmi podobný procesům a pracovním postupům. Podstatným rozdílem je, že uzly MCC grafu control-flow mají identickou sémantiku, zatímco uzly procesů (tj. aktivity, úkoly, webové služby), mohou mít různou sémantiku (tj. AND, OR, XOR atd). [23] [24]

Tento přístup užívá pojem zavedený McCabem a řeší sémantický rozdíl uzlů. Četné studie a zkušenosti v oblasti softwarových projektů ukázaly, že míra MCC koreluje velmi úzce s chybami v softwarových modulech. Čím složitější modul je, tím větší je pravděpodobnost, že obsahuje chyby. Cílem je snaha přizpůsobit McCabeovu cyklomatickou komplexitu tak, aby mohla být aplikována na procesy. [23]

2.2.2 Cardosova control-flow metrika

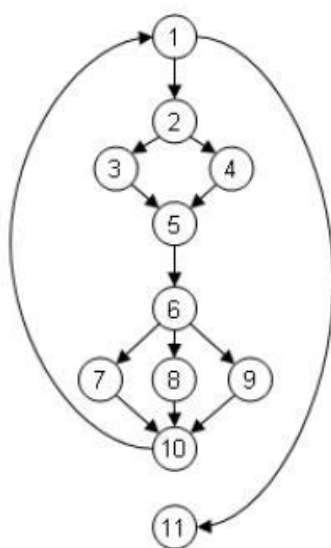
Významná je metrika komplexity control-flow, označována zkratkou CFC, k měření míry komplexity podnikových procesů, z hlediska control-flow a jejím autorem je Cardoso [1]. Použití CFC metriky umožňuje návrhářům zlepšování procesů, čímž se sníží čas strávený čtením a pochopením procesů, za účelem odstranění závad nebo jejich přizpůsobením změněným požadavkům. [4]

CFC metrika může být použita k analýze komplexity obchodních procesů, stejně tak i pracovních postupů a procesů spojených s webovými stránkami. Metrika je validována pomocí Weyukerových vlastností, které dávají důležitý základ pro klasifikaci měř komplexity za účelem zjištění, jestli mohou být kvalifikovány jako dobré, strukturované a komplexní. [3] [34]

Chování control-flow procesu je ovlivněno konstrukcí, kterou tvoří rozdělovače a spoje. Rozdělovače umožňují definování možných cest kontroly, které existují v procesu. Spoje mají odlišnou roli, vyjadřují typy synchronizace, které by měly být provedeny v určitém bodě procesu. Počítá se komplexita procesů pomocí vzorců, které hodnotí komplexitu AND, OR a XOR konstruktů. Každý vzorec spočítá počet stavů, kterých může být dosaženo jedním ze tří rozdělojících konstruktů. Míra je založena na vztazích mezi psychologickými diskriminacemi potřebných k pochopení rozdělojícího konstrukt a jeho účinky. Tento typ komplexity je označován jako psychologická komplexita. Proto, čím více možných stavů následuje po rozdělovači, tím obtížnější je pro designéra nebo inženýra obchodního procesu pochopení jednotlivých úseků procesu a tím i samotného procesu. [3]

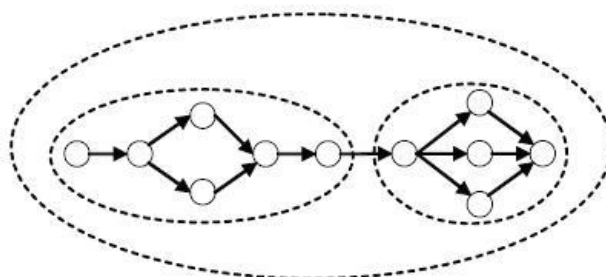
V procesech nelze s úspěchem použít MCC, jelikož míra ignoruje sémantiku spojenou s uzly grafu. Zatímco uzly představující aktivity procesů mají odlišnou sémantiku, uzly grafu programu jsou nediferencované. Control-flow grafy lze použít k popisu logické struktury procesů. Proces se skládá z aktivit a přechodů. Aktivity jsou reprezentovány použitím koleček a přechody jsou reprezentovány použitím šipek. Přechody vyjadřují závislosti mezi činnostmi. [1] [3]

Jednoduché control-flow grafy ukazuje Obrázek 3 a Obrázek 4.



Obrázek 3: Ukázka control-flow_1

Zdroj: [1]



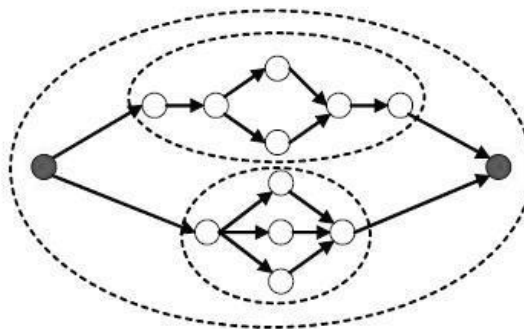
Obrázek 4: Ukázka control-flow_2

Zdroj: [1]

Aktivita s více než jednou odchozí hranou mohou být klasifikovány jako AND, OR nebo XOR rozdělovače. Grafy s aktivitami, které mohou mít tři typy výstupní logiky, se nazývají tri-logické pracovní postupy. Aktivita AND umožňuje všem odchozím hranám dokončení jejich provádění. Aktivita OR umožňuje, aby jedna nebo více odchozích hran dokončila své provádění. Aktivita XOR umožňuje dokončit provádění pouze jedné odchozí hraně. Aktivita s více než jednou příchozí hranou mohou být klasifikovány jako AND, OR nebo XOR spoje. Aktivita AND zahajují jejich realizaci, když jsou provedeny všechny jejich příchozí hrany. Aktivita OR zahajují jejich realizaci, když je provedena podmnožina příchozích hran. Aktivita OR jsou provedeny, jakmile je jedna z příchozích hran aktivována. [6]

Aktivity AND jsou reprezentovány tečkou, aktivity OR kolečkem a aktivity XOR kolečkem s plusem. Většina vzorů pracovních postupů může být konstruována s použitím základních stavebních bloků AND, OR a XOR. Použití pouze OR a XOR představuje nedeterminismus. Na druhé straně AND jsou deterministické.[6]

Obrázek 5 ukazuje použití AND rozdělovače a spoje v control-flow grafu.



Obrázek 5: Ukázka control-flow_3

Zdroj: [1]

Čím vyšší je hodnota CFC, tím komplexnější je návrh procesu, protože vývojáři musejí zvládnout všechny stavy mezi control-flow konstrukty (rozdělovači) a jejich přidružené odchozí přechody a aktivity. Každý vzorec pro výpočet komplexity rozdělovače je založen na počtu stavů, které po něm následují. [4]

Cardoso navrhl ještě sadu dalších metrik [2]:

- NOA: metrika zahrnující množství činností v procesu;
- NOAC: metrika zahrnující množství činností a toků v procesu;
- NOAJS: metrika zahrnující množství činností, spojů a rozdělovačů;
- IC: komplexita rozhraní, která je převzata z metriky toku informací a do výpočtu zahrnuje délka procesu;
- HPC: Halsteadova metrika založená na komplexitě procesu.

Metriky NOA, NOAC a NOAJS představují komplexitu aktivit a vycházejí z řádků kódu, označovaných jako LOC, které jsou v softwarovém inženýrství používány k určení délky softwaru. [2]

Cardoso také navrhl tři grafem orientované metriky. Koefficient komplexity grafu CNC, definovaný jako počet oblouků vydělený počtem aktivit a operátorů. Index komplexity CI,

definovaný jako minimální počet uzlů, o které jde graf zredukovat a restriktivní odhad RE, odhadující počet možných sekvencí v grafu. [2]

Cardosova CFC metrika prošla jak teoretickou tak empirickou validací, ostatní zmiňované metriky teoretickou ani empirickou validací neprošly. [25]

2.2.3 Další metriky podle autorů

Gruhn a Laue navrhli kognitivní váhu pro modely podnikových procesů. Tato metrika, označovaná jako CFS, je adaptací kognitivní funkční velikosti. Kognitivní míry komplexity jsou založeny na kognitivní informatice. Navrhovatelé kognitivních metrik tvrdí, že existují tři faktory, které vedou ke složitosti a to vnitřní architektura softwaru, vstupní data modelu a výstupní data modelu. To znamená, že kognitivní komplexita je funkcí těchto tří faktorů. [25]

Tato metrika je určena pro použití s grafickými modely podnikových procesů, které kladou důraz na vizuální komunikaci s uživateli, ale nabízejí minimální formální sémantiku. Hlavní omezení této metriky je, že ignoruje dva ze tří faktorů, které zahrnují kognitivní komplexitu, a to vstupy a výstup a soustředí se pouze na ovládání toků. [25]

Také navrhli přizpůsobení metriky toku informací pro obchodní procesy a na rozdíl od Cardoso IC tato metrika ve výpočtu délku procesu nezahrnuje. [25]

Lassen a van der Aalst navrhli tři míry komplexity pro podtřídu Petriho sítí, nazvanou sítí pracovních postupů. Rozšíření Cardoso metriky ECaM, rozšíření cyklomatické metriky ECyM a strukturovanou metriku SM. ECaM rozšiřují CFC v tom, že jsou dělány na míru pro podporu Petriho sítí. Tyto metriky byly realizovány v rámci Prom, což je míra obchodního procesu, která se zaměřuje na monitoring obchodních aktivit BAM. [25]

Vanderfeesten navrhl metriku s názvem Cross-Connectivity, značenou CC, založenou na kognitivní komplexitě. Je to míra chyby predikce, která měří sílu vazeb, mezi prvky procesního modelu. [25]

Je založena na hypotéze, že procesní modely jsou srozumitelnější a obsahují méně chyb v případě, že mají vysokou křížové připojení CC. Kromě předvídání chyb, ale také může měřit srozumitelnost modelu podnikových procesů. Tato metrika byla hodnocena empiricky pomocí Spearmanova korelačního koeficientu a vícerozměrné logistické regrese. [25]

Mending s Neumannem navrhli šest metrik, týkajících se chyb, které jsou úzce spojeny s komplexitou. Tyto metriky jsou založené na teorii grafů a zahrnují velikost, oddělitelnost, souvislost, strukturovanost, cykličnost a paralelismus. Zvýšení velikosti zvyšuje

pravděpodobnost chyby. Zvýšení oddělitelnosti, souvislosti a strukturovanosti znamená pokles pravděpodobnosti chyby. Zvýšení cykličnosti a paralelismu také zvyšuje pravděpodobnost chyby. [25]

2.3 TEORETICKÁ A EMPIRICKÁ VALIDACE METRIK

Vývoj modelu a teorie pro výpočet složitosti, spojená s procesem nebo pracovním postupem nazývaným work-flow, musí odpovídat souboru základních, ale důležitých vlastností. Metrika by měla být snadná k pochopení, snadná k výpočtu, konzistentní a objektivní. [32]

Následující vlastnosti jsou vysoce žádoucí [32] [36]:

- Jednoduchost: metriky by měly být snadno srozumitelná pro své koncové uživatele (tj. pro procesní analytiku a designéry);
- Konzistence: metrika by měla vždy dávat stejnou hodnotu, když ji dva nezávislí uživatelé aplikují na měření stejného procesu (měli by dospět ke stejnému výsledku);
- Automatizace: musí být možné automatizovat měření procesů;
- Míry musí být aditivní: jsou-li dvě nezávislé struktury dány do sekvence, pak celková složitost kombinovaných struktur je alespoň součet složitosti nezávislých struktur;
- Míry musí být interoperabilní: vzhledem k velkému počtu stávajících specifikovaných jazyků by měly být měření nezávislá na specifikovaném jazyku procesu. Cílem je, aby bylo možné nastavit normy komplexity a interpretovat výsledná čísla jednotně specifikovanými jazyky.

V oblasti měření software, měly vyvinuté metody a teorie snížené průmyslové uplatnění. Podle některých studií, je jedním z důvodů to, že je zde nedostatek validace, tedy ověření navrhaných metrik a následkem toho je nedostatek důvěry v měření. Pro překonání tohoto problému, se studuje devět požadovaných vlastností (nutných, nikoli však postačujících), navržených Weyukerem, které by měly být pokryty u každého dobrého měření komplexity. [34]

Weyukerovi vlastnosti byly aplikovány v softwarovém inženýrství a jsou vážně diskutovány v mnoha literaturách. I když byly tyto vlastnosti také kritizovány, tak v současné době jsou stále více uplatňovány. Weyukerovi vlastnosti jsou široce známým formálním

analytickým přístupem, neboť poskytují základ pro teoretickou validaci metrik komplexity. S nimi je možné odfiltrout metriky s nežádoucími vlastnostmi. Devět kritérií navržených Weyukerem poskytuje rámec pro zhodnocení vlastností softwarových metrik pomocí formální teoretické báze. Tyto vlastnosti jsou určeny k vyhodnocení měření komplexity, týkající se zdrojového kódu metrik. [34]

Většina z těchto vlastností je formulována jasným způsobem, proto jsme schopni o nich diskutovat [34]:

- první vlastnost uvádí, že metrika nemůže měřit všechny softwarové programy tak, jako by byly stejně komplexní;
- druhá vlastnost uvádí, že existuje pouze omezený počet programů stejné komplexity;
- třetí vlastnost uvádí, že každý program může být komplexní;
- čtvrtá vlastnost uvádí, že složitost programu je závislá na jeho realizaci a že i když dva programy řeší stejný problém, mohou být různě komplexní;
- pátá vlastnost uvádí, že komplexita dvou programů spojených dohromady je větší, než komplexita jednotlivých programů, pokud by byly uvažovány samostatně;
- šestá vlastnost uvádí, že když je program dané komplexity spojen se dvěma dalšími programy, nemusí to nutně znamenat, že výsledný program bude stejné komplexity a to i v případě, že oba přidané programy jsou stejné komplexity;
- sedmá vlastnost uvádí, že permutovaná verze programu může mít různou komplexitu, takže záleží na pořadí příkazů;
- osmá vlastnost uvádí, že v případě, že je program přejmenován na jiný program, komplexita by měla být stejná jako u původního programu;
- devátá vlastnost uvádí, že komplexita dvou programů spojených dohromady, může být větší, než součet jejich individuálních komplexit.

Důležitou částí měření je také empirická validace navrhované metriky. Experimentování je klíčovou součástí hodnocení nových metrik a je rozhodující pro úspěch jakéhokoliv měření. Prostřednictvím empirického potvrzení, je ukázáno, pomocí skutečných důkazů, že navrhovaná míra slouží účelu, pro který byla definována. [35]

Tabulka 2 ukazuje přehled, zda výše popsané metriky prošly teoretickou, popřípadě empirickou validací.

Tabulka 2: Validace metrik

Autor	Metrika	Teoretická validace	Empirická validace
Cardoso	CFC	ano	ano
Cardoso	NOA, NOAC, NOAJS, IC, HPC, CNC, CI, RI	ne	ne
Gruhn a Laue	CFS	ne	ne
Lassen a van der Aalst	ECaM, ECyM, SM	ne	ano
Vanderfeesten	CC	ne	ano
Mendling a Neumann	šest metrik týkajících se chyb	ne	ano

Zdroj: upraveno podle [25]

Vzhledem k velkému počtu stávajících specifikovaných jazyků, by měření měla být nezávislá na specifikovaném jazyku procesu. Hodnota komplexity by měla znamenat totéž, ať byla vypočítána z procesu, psaném v kterémkoliv jazyku. Cílem je, aby bylo možné nastavit normy komplexity a interpretovat výsledná čísla jednotně specifikovanými jazyky. Proto je zavedena nová, desátá, vlastnost interoperabilita, která není součástí Weyukerových vlastností, nicméně v oblasti podnikových procesů a modelování procesů má důležitý význam. [3] [34]

Tato vlastnost říká, že měření musí být interoperabilní, tedy nezávislé na jazyku procesu. Pokud je proces P stejný jako proces Q, ale jsou specifikované v jiném jazyku, jejich komplexita je stejná. Na první pohled se může zdát, že má tato vlastnost nějaký vztah s osmou vlastností. Pojmenování činnosti lze chápat jako reprezentaci v modelovacím jazyku procesů, které se liší, i když základní postup je stejný. Vlastnost interoperabilita však bere v úvahu expresivitu modelovacího jazyka procesu. [3]

Například modelovací jazyk L_p může být schopen vyjádřit pouze AND a XOR rozdělovače, zatímco jiný jazyk, L_q , může být rovněž schopen vyjádřit OR rozdělovače. V tomto případě metriky komplexity control-flow, které umožňují vyjádřit pouze AND a XOR, nejsou

kompatibilní s jazykem L_q , protože OR nemůže být reprezentován. Na druhou stranu, pokud se metrika domnívá, že komplexita vychází z AND a XOR rozdělovačů, pak je to interoperabilní napříč jazykem L_p a L_q . [3]

3 ANALÝZA REÁLNÉHO PROCESU POSKYTNUTÍ ÚVĚRU

Velké banky si uvědomily, že k tomu aby byly konkurenceschopné a efektivní, je třeba přijmout nový, moderní informační systém infrastruktury. Proto byl učiněn první krok v tomto směru s přijetím systému managementu pracovních postupů (WfMS), pro podporu svých obchodních procesů. Vzhledem k tomu, že banka poskytuje řadu služeb svým zákazníkům, přijetí WfMS umožnilo logiku bankovních procesů, které mají být zachyceny ve schématu. V důsledku toho, je část dostupných služeb zákazníkům uložena a realizována, pomocí systému managementu pracovních postupů. [1]

Jedna ze služeb nabízených bankou je proces poskytnutí úvěru, který je vybrán pro výpočet komplexity pomocí MCC, CFC a Petriho sítě. Následně bude provedena korelační analýza použitých metrik a analýza zatížení tohoto procesu.

Proces poskytnutí úvěru klientovi se skládá z osmnácti uzlů, reprezentujících činnosti, označených písmeny A až R a z dvaceti čtyř přechodů. Jsou použity čtyři operátory XOR a jeden operátor AND.

První činností je vstup klienta do internetové aplikace banky. Aby mohl klient do aplikace vstoupit, musí vyplnit heslo a vložit certifikát. V nabídce služeb klient vybere, že chce zažádat o úvěr. Poté následuje činnost, která umožňuje klientovi vyplnit elektronickou žádost, kde je klient dotazován, o jaký typ úvěru má zájem.

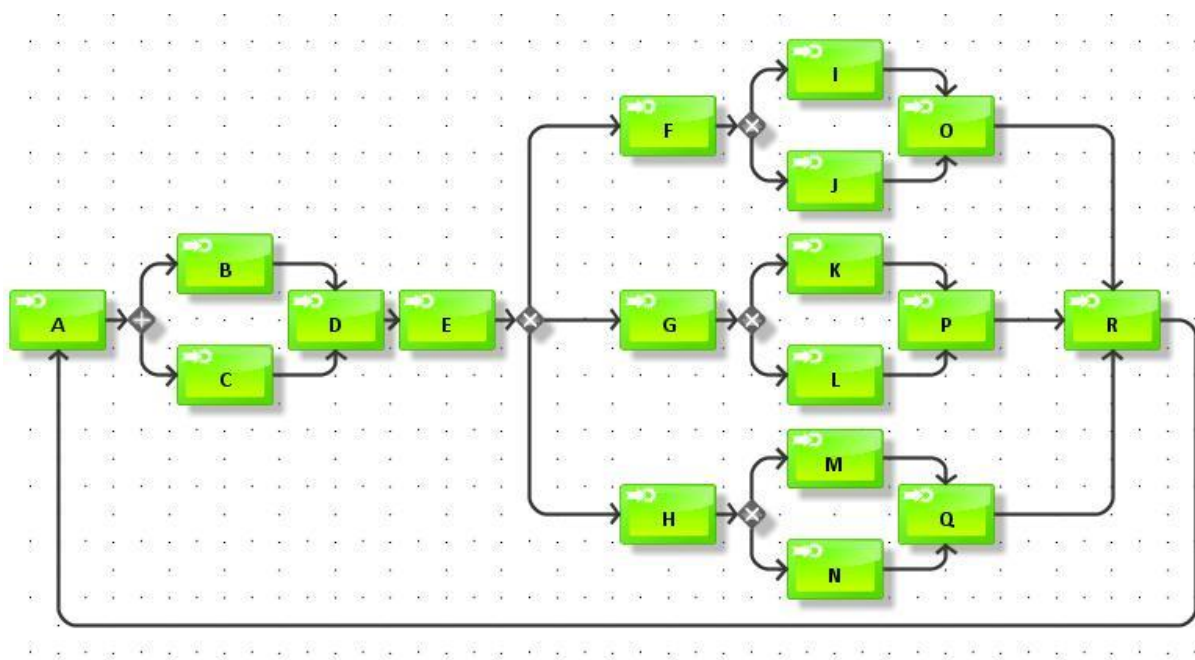
Banka nabízí tři typy úvěrů. Úvěr na bydlení, úvěr na vzdělání nebo úvěr na automobil. Klient si v rámci procesu může zažádat pouze o jeden úvěr. Banka přijme klientovu žádost a rozhoduje o jejím schválení nebo zamítnutí. Poté co banka rozhodne, je klient informován e-mailem a dále je žádost o úvěr s výsledným rozhodnutím uložena do databáze banky a tím je proces žádosti o úvěr ukončen.

Seznam činností procesu je následující:

- A – vstup do internetové aplikace banky;
- B – vyplnění hesla;
- C – vložení certifikátu;
- D – z nabízených služeb výběr služby žádost o úvěr;
- E – vyplnění žádosti o úvěr a výběr typu úvěru;
- F – úvěr na bydlení;

- G – úvěr na vzdělání;
- H – úvěr na automobil;
- I – schválení úvěru na bydlení;
- J – zamítnutí úvěru na bydlení;
- K – schválení úvěru na vzdělání;
- L – zamítnutí úvěru na vzdělání;
- M – schválení úvěru na automobil;
- N – zamítnutí úvěru na automobil;
- O – informování klienta o rozhodnutí o úvěru na bydlení;
- P – informování klienta o rozhodnutí o úvěru na vzdělání;
- Q – informování klienta o rozhodnutí o úvěru na automobil;
- R – uložení žádosti do databáze banky a ukončení procesu.

Obrázek 6 ukazuje strukturu výše popsaného procesu, vytvořenou v prostředí programu Aris Express, kde je jasně vidět počet činností a přechodů, včetně použitých operátorů. Zpětná vazba zajišťuje živost procesu.



Obrázek 6: Schéma reálného procesu

Zdroj: vlastní zpracování

3.1 MĚŘENÍ KOMPLEXITY REÁLNÉHO PROCESU

Následně je pro reálný proces počítána komplexita, nejprve pomocí jednoduché McCabeovi MCC metriky, která nebere v úvahu použité operátory, poté Cardosoova CFC metrika, která již operátory zohledňuje a nakonec entropie pomocí Petriho sítí.

MCC je počítána prostřednictvím vzorce $e - n + 2$. Kde e je počet hran a n je počet uzlů. V analyzovaném procesu žádosti o úvěr je počet hran dvacet čtyři a počet uzlů osmnáct. Komplexita vypočítaná touto metrikou je 8, což podle stanovených limitů ukazuje na jednoduchý proces bez velkého rizika.

Při počítání Cardosovi CFC metriky se postupuje tak, že se vypočítají individuální CFC pro uzly, kde byl použit operátor, v případě tohoto procesu AND a XOR. Komplexita bude počítána pro uzel A, kde byl použit operátor AND a pro uzly E, F, G a H, kde byly použity operátory XOR. Je vypočítáno pět individuálních hodnot CFC metriky, jejichž sečtením je získána absolutní CFC procesu, označována jako $CFC_{abs}(P)$. Pokud se tato absolutní CFC vydělí počtem operátorů, v tomto případě číslem pět, je získána relativní CFC procesu, označována jako $CFC_{rel}(P)$. Čím větší jsou tyto hodnoty, tím větší je celková komplexita daného procesu a důsledkem toho je jeho větší složitost.

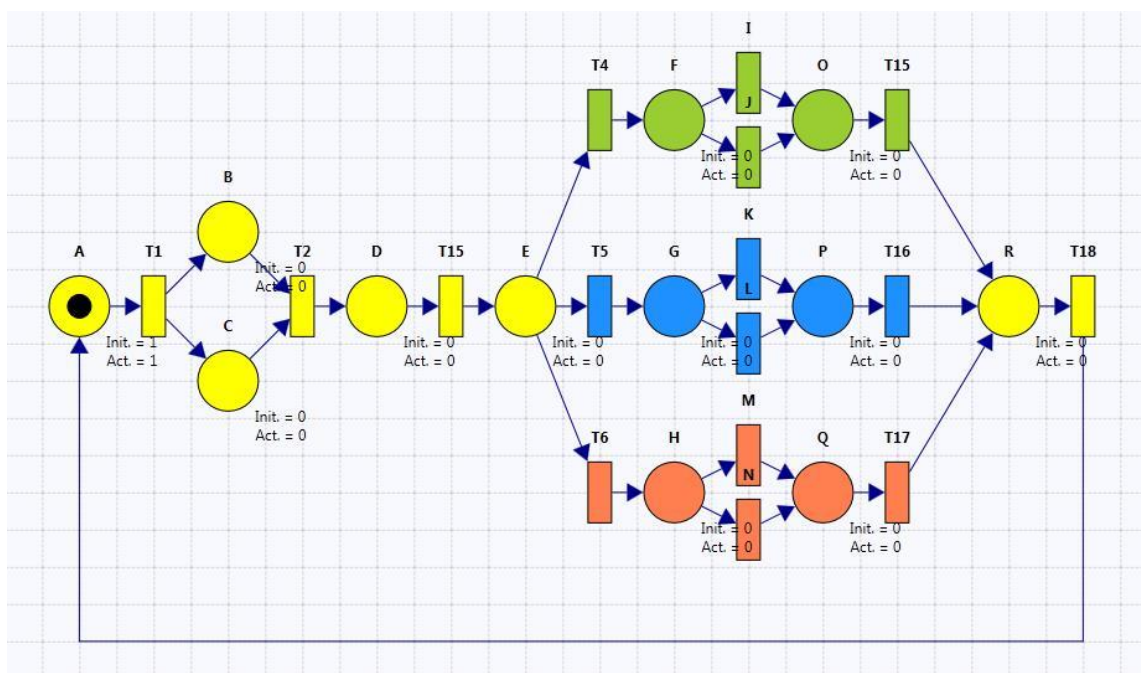
Pro každý operátor AND je CFC komplexita rovna jedné. Pro operátor XOR je CFC komplexita činnosti x určena počtem činností, které po aktivitě x následují, jinak řečeno počtem výstupů z činnosti x .

V případě procesu žádosti o úvěr jsou výpočty individuálních CFC následující:

- CFC_{AND} pro činnost A = 1;
- CFC_{XOR} pro činnost E = 3;
- CFC_{XOR} pro činnost F = 2;
- CFC_{XOR} pro činnost G = 2;
- CFC_{XOR} pro činnost H = 2.

Sečtením těchto individuálních složitostí je získána absolutní CFC s hodnotou 10, relativní CFC je pak 2.

Hodnota entropie reálného procesu, namodelovaného v Petriho sítích jak ukazuje Obrázek 7, je 3,26.



Obrázek 7: Petriho síť reálného procesu

Zdroj: vlastní zpracování

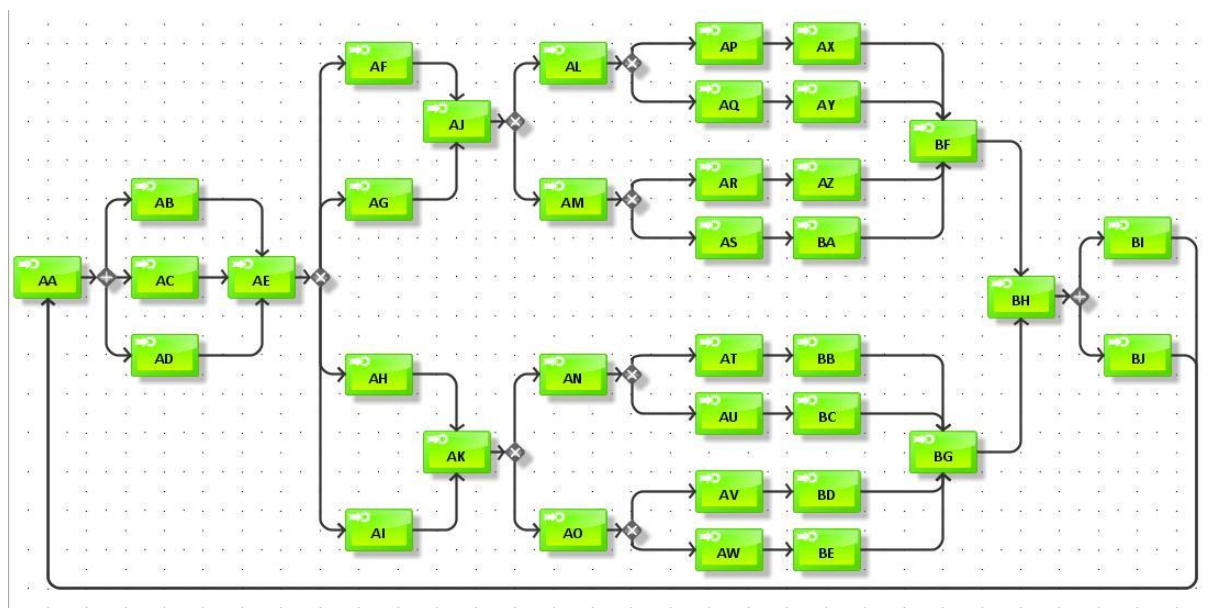
Získané hodnoty budou interpretovány v následující podkapitole.

3.2 ANALÝZA ZMĚN REÁLNÉHO PROCESU

Aby bylo lépe vidět, jak se komplexita mění u procesů, které mají více činností, je namodelován fiktivní proces, ve kterém je použito více operátorů.

Tento proces se skládá ze třiceti šesti uzlů, představujících činnosti, ze čtyřiceti osmi přechodů a je použito celkem devět operátorů. Dva operáty AND a sedm operátorů XOR.

Strukturu fiktivního procesu ukazuje Obrázek 8.



Obrázek 8: Schéma fiktivního procesu

Zdroj: vlastní zpracování

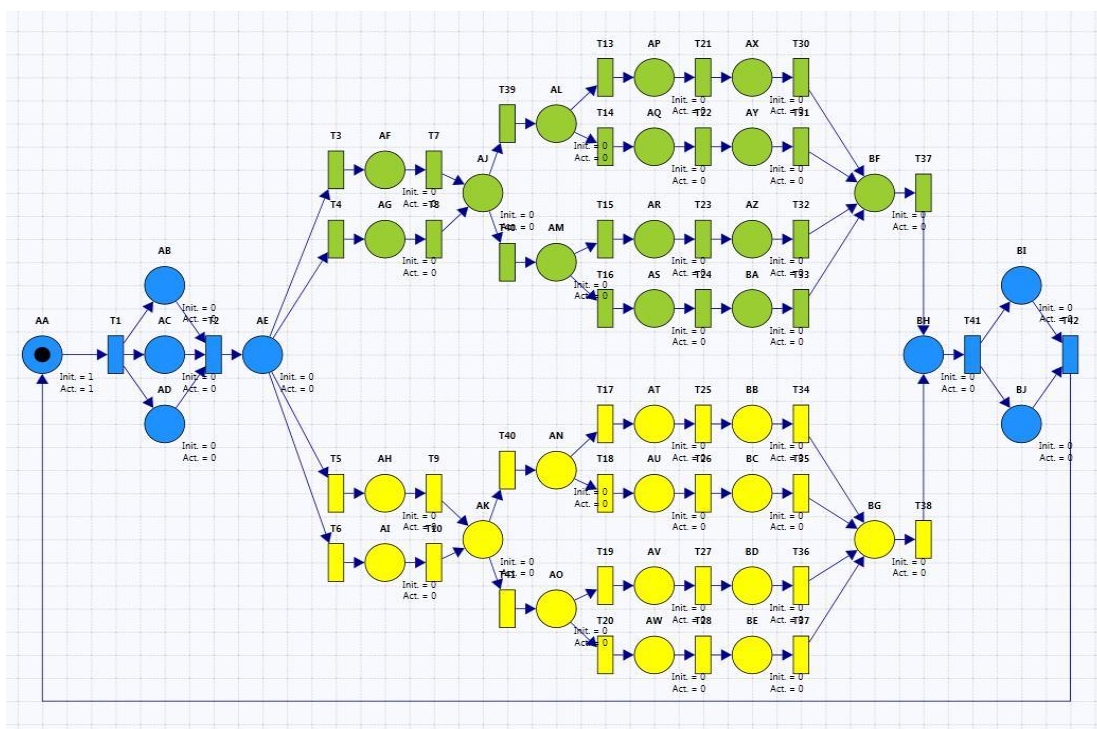
Nejprve je vypočítána MCC, která je pro tento fiktivní proces 14.

Výpočty CFC metriky pro jednotlivé operátory fiktivního procesu jsou následující:

- CFC_{AND} pro činnost AA = 1;
- CFC_{AND} pro činnost BH = 1;
- CFC_{XOR} pro činnost AE = 4;
- CFC_{XOR} pro činnost AJ = 2;
- CFC_{XOR} pro činnost AK = 2;
- CFC_{XOR} pro činnost AL = 2;
- CFC_{XOR} pro činnost AM = 2;
- CFC_{XOR} pro činnost AN = 2;
- CFC_{XOR} pro činnost AO = 2.

Sečtením těchto individuálních složitostí je získána absolutní CFC s hodnotou 18 a po vydělení počtem použitých operátorů, tedy devíti, relativní CFC, která je 2.

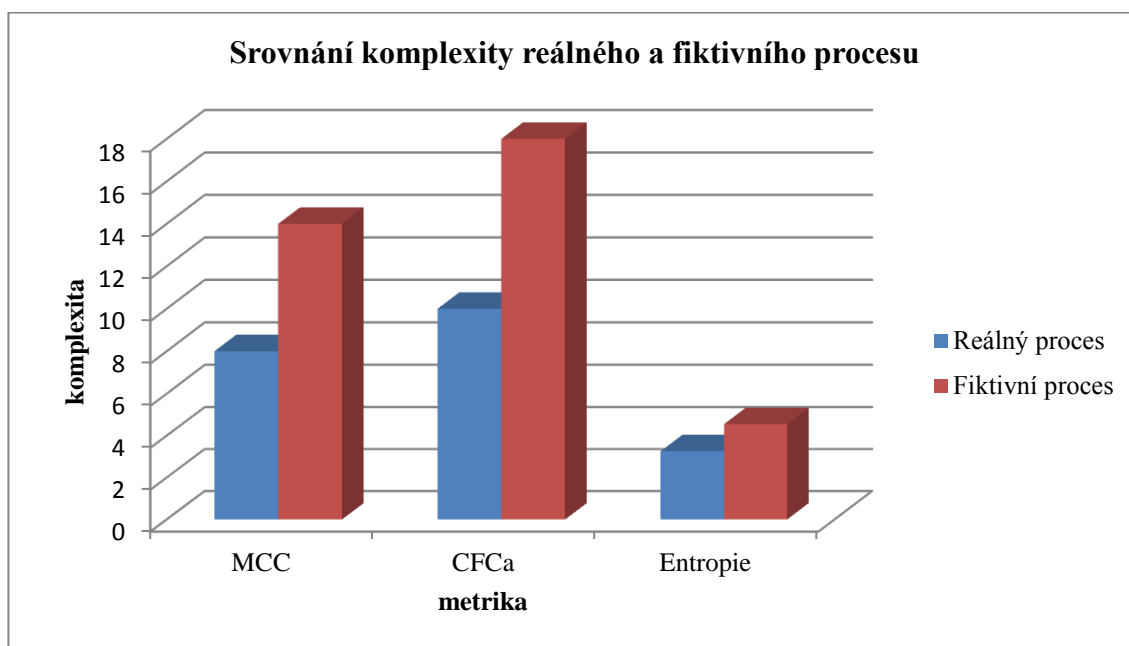
Fiktivní proces namodelovaný v Petriho sítích ukazuje Obrázek 9 a hodnota jeho entropie je 4,55.



Obrázek 9: Petriho síť fiktivního procesu

Zdroj: vlastní zpracování

Výsledky, které ukazuje Obrázek 10, potvrdili, že u procesu s větším počtem činností a operátorů MCC, CFC_{abs} i entropie rostou.



Obrázek 10: Srovnání komplexity reálného a fiktivního procesu

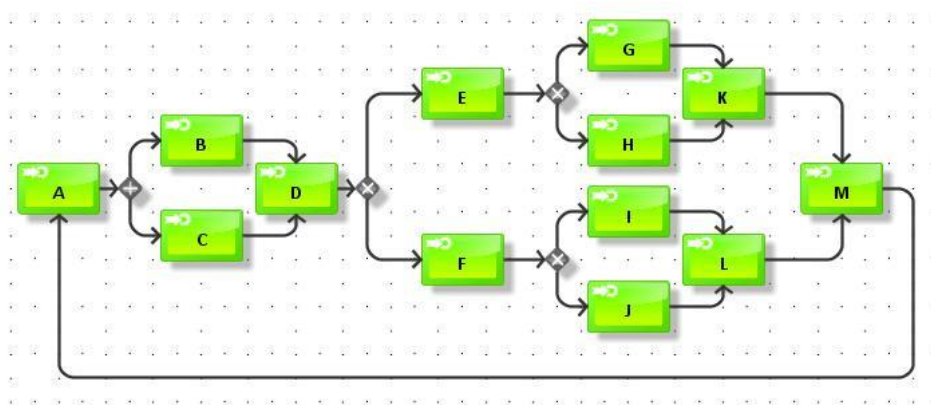
Zdroj: vlastní zpracování

Aby bylo u procesu dosaženo nižší komplexity, jsou navrženy dvě varianty jeho zjednodušení.

Banka by na svých stránkách neměla pouze jedinou aplikaci, společnou pro všechny nabízené služby, jak tomu bylo u výše popsaného procesu, ale vytvořila by samostatnou aplikaci, určenou přímo pro žádost o úvěr. Tím odpadá činnost, kde si klient vybírá, jakou bude od aplikace požadovat službu.

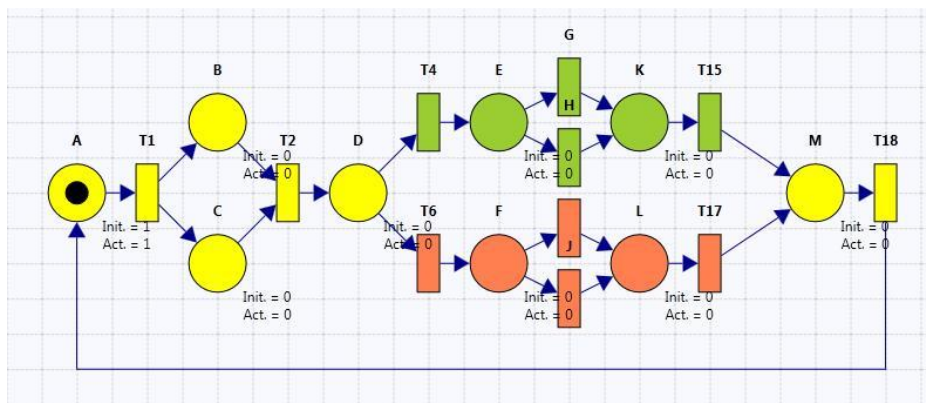
V první zjednodušené variantě, označené jako A, by banka rozlišovala pouze dva typy úvěrů. Ve druhé zjednodušené variantě, označené jako B, by banka nerozlišovala, na co klient úvěr požaduje, zda na auto, bydlení, či vzdělání. V obou případech dojde k odstranění činností i operátorů, čímž se proces výrazně zjednoduší oproti původní variantě.

Zjednodušený proces A má třináct uzlů a sedmáct hran a jsou použity čtyři operátory, jeden operátor AND a tři operátory XOR. Strukturu zjednodušeného procesu A a model Petriho sítě ukazuje Obrázek 11 a Obrázek 12.



Obrázek 11: Schéma zjednodušeného procesu A

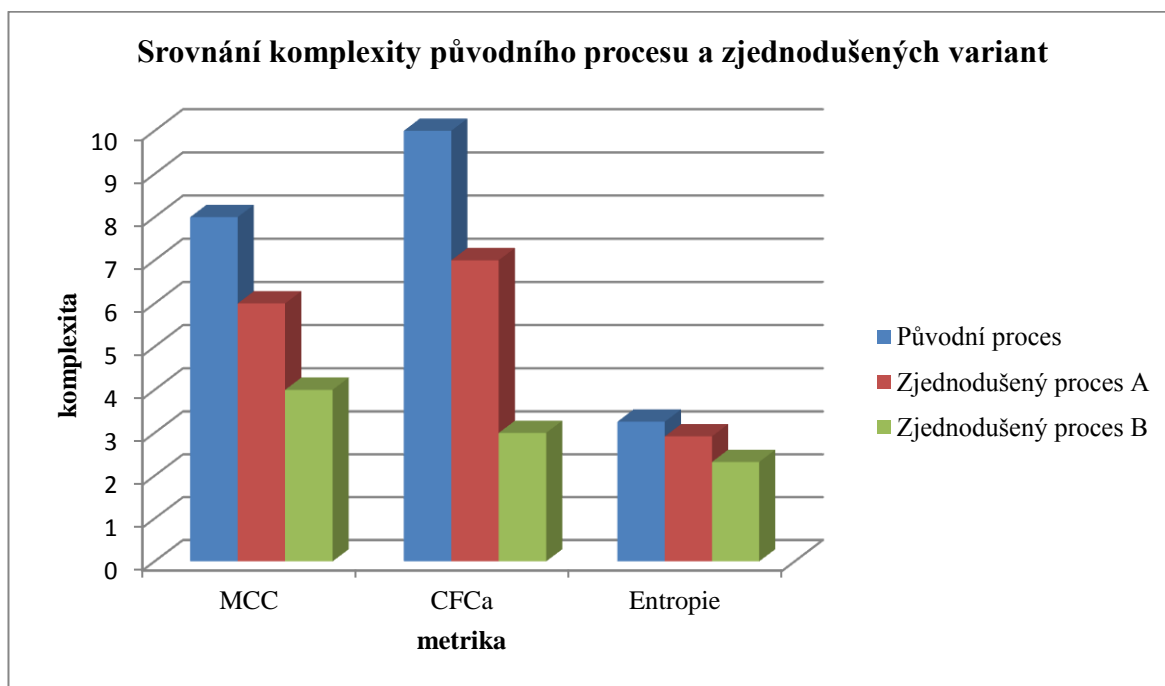
Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 12: Petriho síť zjednodušeného procesu A

Zdroj: vlastní zpracování

Hodnoty z tabulky jsou pro lepší srovnání zobrazeny do sloupcového grafu, jak ukazuje Obrázek 15.



Obrázek 15: Srovnání komplexity původního procesu a zjednodušených variant

Zdroj: vlastní zpracování

Na grafu je vidět, jak hodnoty jednotlivých měř komplexity se zjednodušováním procesu klesají. Zajímavé je, že u původního procesu a u jeho zjednodušené varianty A je hodnota MCC nižší než hodnota CFC_{abs} . Jinak je tomu u zjednodušené varianty B, kde hodnota CFC_{abs} klesla pod hodnotu MCC, což je dáno tím, že u této varianty jsou použity jen dva operátory.

Z analýzy plyne, že při modelování procesů je dobré zvážit počet činností a operátorů a snažit se je omezit na minimum, aby byl proces co nejvíce efektivní.

Všechny vytvořené modely Petriho sítí jsou přiloženy na CD-ROM.

3.2.1 Korelační analýza metrik

Na základě vypočítaných hodnot pro původní proces, jeho zjednodušené varianty A a B a pro fiktivní proces, byla v programu Statistica provedena korelační analýza jednotlivých metrik. Výsledky ukazuje Tabulka 4 a jak je vidět, mezi všemi metrikami je pozitivní korelační závislost, tedy čím větší je hodnota jedné metriky, tím větší je i hodnota druhé metriky. Ve všech případech se jedná o silnou závislost, kdy největší je mezi metrikou CFC a entropií.

Tabulka 4: Korelační analýza

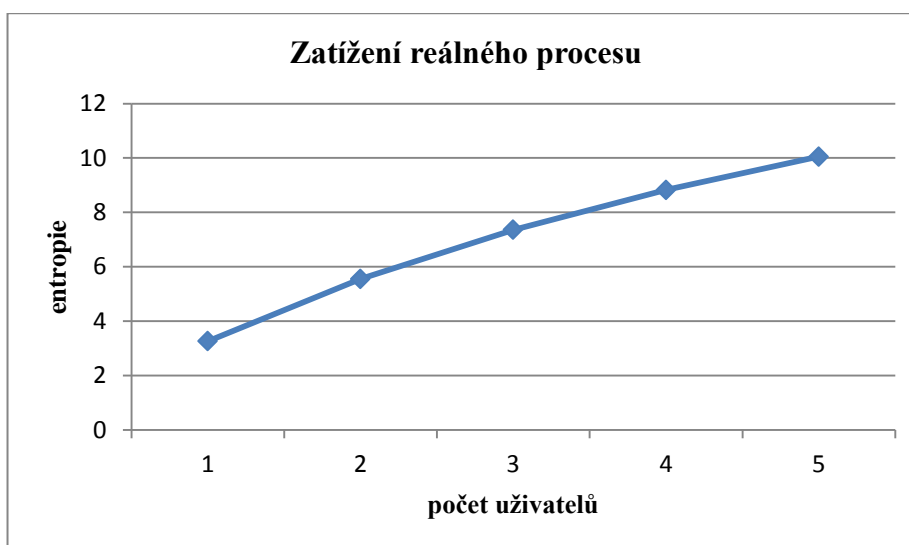
	MCC	CFCa	Entropie
MCC	1	0,9962 p = 0,004	0,9975 p = 0,003
CFCa	0,9962 p = 0,004	1	0,9985 p = 0,001
Entropie	0,9975 p = 0,003	0,9985 p = 0,001	1
korelace označené červeně jsou významné na hladině $p < 0,01$			

Zdroj: vlastní zpracování

3.3 ANALÝZA ZATÍŽENÍ PROCESU

Analýza je prováděna v Petriho sítích a zkoumá, jaké je zatížení reálného procesu a jeho zjednodušených variant, tedy jak se mění komplexita, v tomto případě vyjádřená entropií, s rostoucím počtem uživatelů, kteří jsou ve stejnou chvíli v aplikaci přihlášení a žádají o úvěr.

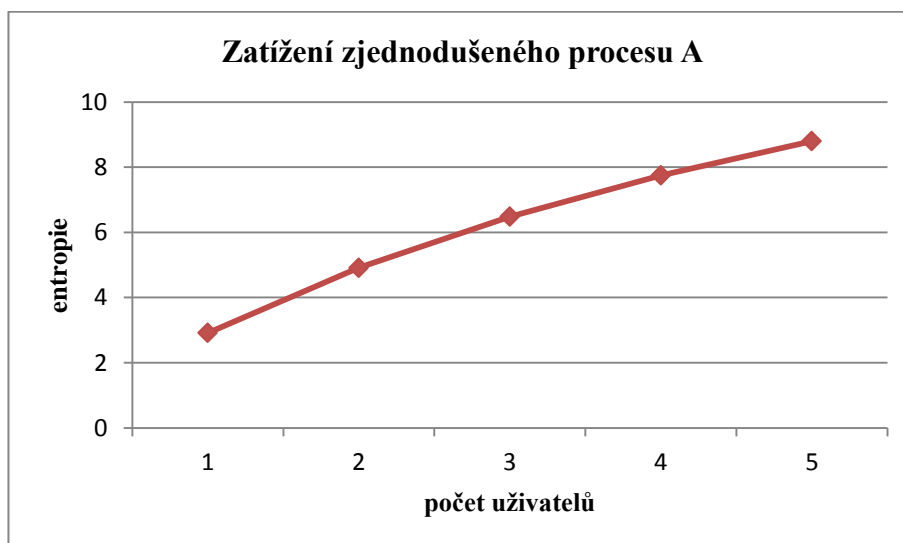
Růst zatížení reálného procesu zobrazuje Obrázek 16, ze kterého je vidět, že s rostoucím počtem přihlášených uživatelů komplexita procesu roste, ale postupně je její nárůst menší. Náročnost programu neumožnila počítat komplexitu pro více uživatelů než pět, ale dá se předpokládat, že při určitém počtu uživatelů se růst komplexity zastaví.



Obrázek 16: Zatížení reálného procesu

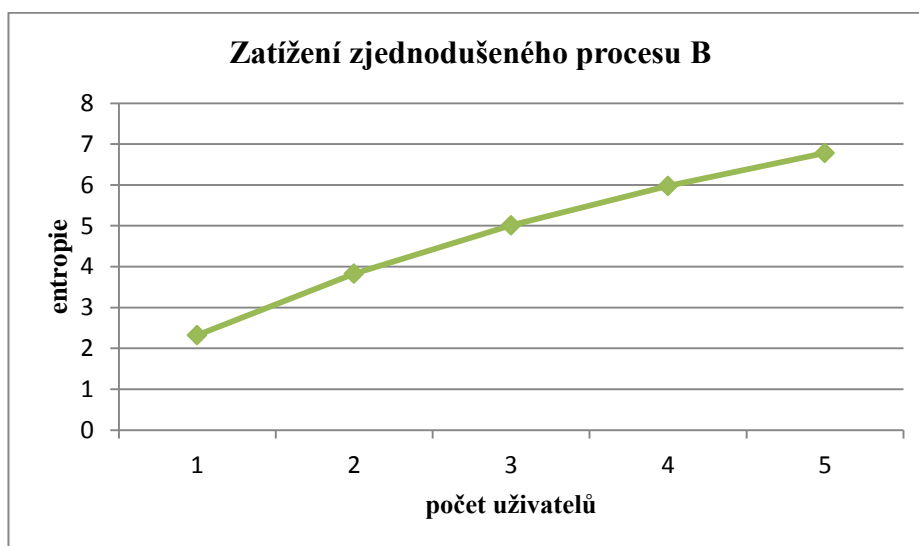
Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 17 a Obrázek 18 ukazují zatížení zjednodušených variant procesu, při rostoucím počtu uživatelů.



Obrázek 17: Zatížení zjednodušeného procesu A

Zdroj: vlastní zpracování

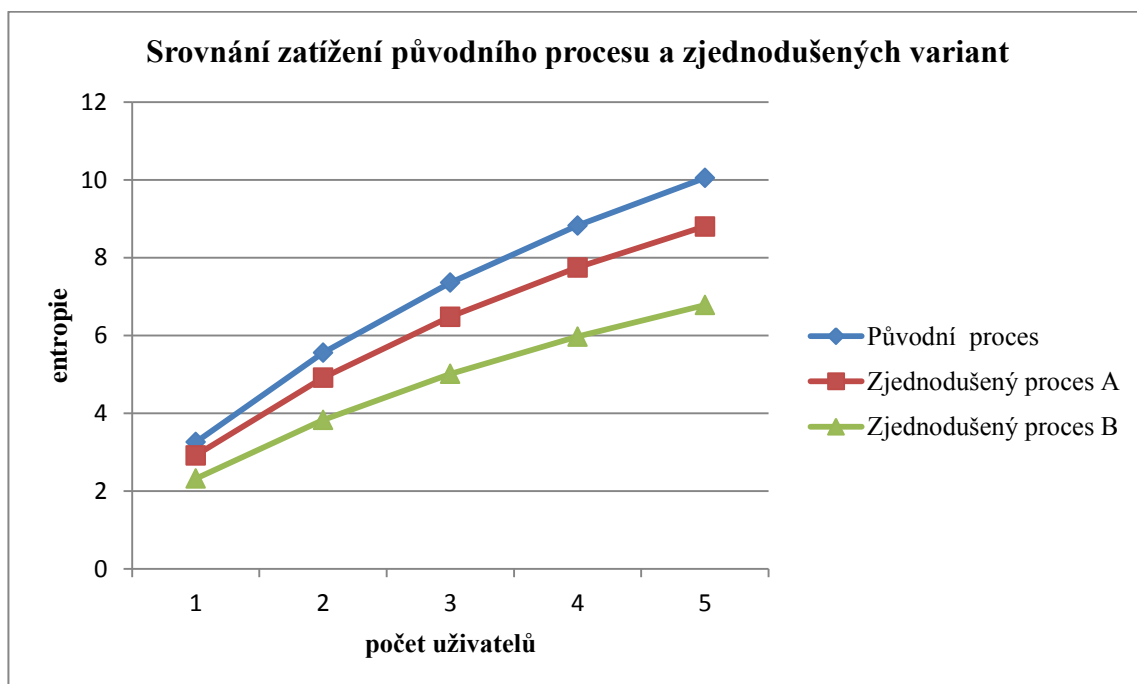


Obrázek 18: Zatížení zjednodušeného procesu B

Zdroj: vlastní zpracování

Jak je vidět, zatížení je při zjednodušení procesu výrazně nižší, což umožní plynulejší chod aplikace, při větším počtu přihlášených uživatelů.

Srovnání zatížení původního procesu a jeho zjednodušených variant zobrazuje Obrázek 19.



Obrázek 19: Srovnání zatížení původního procesu a jeho zjednodušených variant

Zdroj: vlastní zpracování

Pokud by měl ale původní proces zůstat nezměněný, navrhovaným řešením je možnost, že by systém do aplikace pustil jen určitý počet uživatelů a ostatní by byli zařazeni do fronty a požádání, aby vyčkali, až bude vyřízen požadavek těch, kteří se přihlásili dříve. Čekajícím uživatelům by se zatím mohla ukazovat animace s informacemi o poskytování úvěrů, popřípadě další nabízené služby bankou. U webové aplikace však není omezení v počtu uživatelů, proto by bylo toto řešení vhodné u fyzických systémů, kde musí zaměstnanci například obsluhovat různý počet lidí či zpracovávat nějaké dokumenty.

ZÁVĚR

Práce se věnovala analýze komplexity procesů. Čím více má proces činností, tím větší je jeho komplexita a jedním z důsledků rostoucí komplexity je jeho větší složitost, způsobená například horší čitelností, přehledností či použitelností. Důležitou roli hraje také počet použitých operátorů. Byla popsána komplexita procesů obecně a detailněji pro procesy obchodní. Dále je vysvětlena komplexita v informačních systémech, komplexita v časových řadách a v Petriho sítích. Pro časové řady je komplexita podrobněji kategorizována na fraktalitu, metody odvozené od nelineární dynamiky a na entropii.

Ve druhé části byl vytvořen přehled v současnosti nejpoužívanějších měř komplexity a rozdělen podle autorů, kteří je navrhli. Za nejjednodušší míry komplexity lze považovat délku a velikost procesu. Podrobněji jsou popsány dvě nejznámější míry komplexity a to McCabeova MCC a Cardosoova CFC metrika, pro které je popsán i postup výpočtu. Zatímco MCC metrika nebere v úvahu použité operátory, ale zaměřuje se pouze na počet činností a hran, CFC metrika již použité operátory zohledňuje.

V rámci validace metrik bylo zmíněno devět kritérií navržených Weyukerem, týkajících se vlastností, které by měly metriky splňovat. Do tabulky bylo shrnuto, u kterých metrik tomu tak je a které naopak validaci nesplňují.

Ve třetí části, věnované samotné analýze, je popsán reálný proces poskytnutí úvěru, který se skládá z osmnácti činností. Na tento proces byly aplikovány metriky MCC, CFC a entropie. Aby bylo lépe vidět, jak se komplexita mění s rostoucím počtem činností a použitých operátorů, byl vytvořen fiktivní proces, skládající se z třiceti šesti činností a následně porovnán s procesem původním. Dále byly navrženy dvě zjednodušené varianty procesu poskytnutí úvěru a pro ně také vypočítány hodnoty MCC, CFC a entropie. Výsledky byly opět srovnány s původním procesem a potvrdilo se, že čím méně má proces činností a operátorů, tím je jeho komplexita nižší a tím se stává efektivnějším.

Pro získané hodnoty MCC, CFC a entropie byla provedena korelační analýza, která ukázala pozitivní závislost mezi jednotlivými metrikami.

Na závěr byla provedena analýza zatížení pomocí Petriho sítí, aby bylo vidět, jak se mění komplexita, v tomto případě vyjádřená entropií, když bude ve stejný moment proces využívat více uživatelů. Ukázalo se, že zatížení s rostoucím počtem uživatelů roste, ale stále pomaleji, takže lze předpokládat, že u určitého počtu přihlášených uživatelů se růst komplexity zastaví.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] CARDOSO, J. 2008. Business Process Control-Flow Complexity: Metric, Evaluation, and Validation. *International Journal of Web Services Research (IJWSR)*, 5, 49-76.
- [2] CARDOSO, J. 2006. Complexity analysis of BPEL web processes. *Software Process: Improve. Practice J.*, 12: 35-59.
- [3] CARDOSO, J. 2005. Control-flow complexity measurement of processes and Weyuker's properties (accepted for publication). *Proceedings of the 6th International Enformatika Conference (IEC 2005)*, Budapest, Hungary.
- [4] CARDOSO, J. 2005. Evaluating workflows and Web process complexity. In L. Fischer (Ed.), *Work flow handbook 2005* (pp. 284–290). Light house Point, FL: Future Strategies Inc.
- [5] CARDOSO, J., Anyanwu, K., Sheth, A., Miller, J.A., & Kochut, K.J. 2003. Health care enterprise process development and integration. *Journal of Research and Practice in Information Technology, Special Issue in Health Knowledge Management*, 35(2), 83–98.
- [6] CARDOSO, J., BOSTROM, R.P., & SHETH, A. 2004. Work flow management systems and ERP systems: Differences, commonalities, and applications. *Information Technology and Management Journal. Special issue on Work flow and E-Business*, 5(3-4), 319–338.
- [7] DORDA, M. Úvod do Petriho sítí. *Nekonvenční metody*. Ostrava: Vysoká škola báňská.
- [8] DU, W., Davis, J., Huang, Y., & Shan, M. (1999). Enterprise work flow resource management. *Proceedings of the International Workshop on Research Issues in Data Engineering*, Sydney, Australia.
- [9] FAKULTA INFORMATIKY MASARYKOVY UNIVERZITY. Životní cyklus IS. *muni.cz* [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <http://www.fi.muni.cz/~smid/mis-zivcyk.htm>.
- [10] FENGMEI, Y., HUILING, L., LEAN, Y., LING, T. 2015. *Chaos, Solitons and Fractals*, 81, 117–135.

- [11] GONZÁLEZ, L. S., RUBIO, F. G., GONZÁLEZ, F. R. & VELTHUIS, M. P. 2010. Measurement in business processes: a systematic review. *Business Process Management Journal*, 16, 114 - 134.
- [12] HOLUB, I. Jak a proč vzniká komplexita v IS. *Systémová integrace*. Praha: Česká společnost pro systémovou integraci, 2012, 1, s. 74-93. ISSN: 1804-2716 (online)
- [13] HOLUB IT CONSULTING. Komplexní systémy. holub.cz [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <http://www.holub.cz/index.php/sk/komplexni-systemy>.
- [14] JANÍČEK, P., MAREK, J. *Expertní inženýrství v systémovém pojetí*. Grada, 2013. 592 s. ISBN 978-80-247-4127-7.
- [15] JONES, T.C. 1986. *Programming productivity*. New York: Mc Graw-Hill.
- [16] KANTZ, H., SCHREIBER, T. *Nonlinear Timeseries analysis*, vol 7. Cambridge University Press, 2004. 369 s. ISBN 0 521 52902 6 (online)
- [17] LANNING, D.L., & Khoshgoftaar, T.M. 1994. Modeling the relationship between source code complexity and maintenance difficulty. *Computer*, 27(9), 35–41.
- [18] LLOYD, S. *Measures of Complexity*. Department of Mechanical Engineering, 1-3.
- [19] MALEČKOVÁ, D. 2013. *Informační věda a teorie komplexity*. Univerzita Karlova v Praze, 11–15.
- [20] MANAGEMENT MANIA. *Podnikový proces*. [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/business-process-podnikovy-proces>.
- [21] MANAGEMENT MANIA. *Systémový přístup*. [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/rozdil-holismus-redukcionismus>.
- [22] MANAGEMENT, MARKETING. *Vše co student potřebuje vědět. Komplexita se vztahuje*. studentske.eu [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <http://managment-marketing.studentske.eu/2008/06/komplexita-se-vztahuje.html>.
- [23] MCCABE, T. J. 1976. A Complexity Measure. *IEEE Trans. Softw. Eng.*, 2, 308-320.
- [24] MCCABE, T.J., & Watson, A.H. (1994). Software complexity. *Cross talk, Journal of Defense Software Engineering*, 7(12), 5–9.
- [25] MUKETHA, G. M., GHANI, A. A. A., SELAMAT, M. H. & ATAN, R. 2010. A survey of business process complexity metrics. *Information Technology Journal*, 9, 1336-1344.

- [26] NOVOTNÝ, O. Měření výkonnosti podnikové informatiky-teorie a praxe. CIO Business Work [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <http://businessworld.cz/reseni-a-realizace/mereni-vykonnosti-podnikove-informatiky-teorie-a-praxe-3583-p3830>.
- [27] REIJERS, H.A., & Vanderfeesten, I.T.P. 2004. Cohesion and coupling metrics for work flow process design. In J. Desel, B. Pernici, & M. Weske (Eds.), BPM 2004 (LNCS 3080) (Vol. LNCS 3080, pp. 290–305). Berlin: Springer-Verlag.
- [28] RICHMAN, J.S., MOORMAN, J.R. 2000. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy, 278:H2039-49.
- [29] SHETH, A.P., van der Aalst, W., & Arpinar, I.B. 1999. Processes driving the networked economy. IEEE Concurrency, 7(3), 18–31.
- [30] SMITH, H., & Fingar, P. 2003. Business process management (BPM): The third wave. Meghan-Kiffer Press.
- [31] SONG, C., HAVLIN, S., MAKSE, H.A. 2005. Self-similarity of complex network. Nature, 433:392-5.
- [32] TSAI, W.T., Lopex, M.A., Rodriguez, V., & Volovik., D. (1986). An approach measuring data structure complexity. Proceedings of the COMPSAC 86.
- [33] WARD, W. (1989). Software defect prevention using McCabe's complexity metric. Hewlett Packard Journal, 40(2), 64–69.
- [34] WEYUKER, E. J. 1988. Evaluating Software Complexity Measures. IEEE Trans. Softw. Eng., 14, 1357-1365.
- [35] ZELKOWITZ, M.V., & Wallace, D.R. 1998. Experimental models for validating technology. IEEE Computer, 31(5), 23–31.
- [36] ZUSE, H. (1990). Software complexity measures and models. New York: de Gruyter & Co.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A *CD-ROM*