

# Na tomto místě bude oficiální zadání vaší práce

- Toto zadání je podepsané děkanem a vedoucím katedry,
- musíte si ho vyzvednout na studijním oddělení Katedry počítačů na Karlově náměstí,
- v jedné odevzdané práci bude originál tohoto zadání (originál zůstává po obhajobě na katedře),
- ve druhé bude na stejném místě neověřená kopie tohoto dokumentu (tato se vám vrátí po obhajobě).



České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
Katedra počítačů



Diplomová práce

**Centrální správa a automatická integrace byznys pravidel v  
architektuře orientované na služby**

*Bc. Filip Klimeš*

Vedoucí práce: Ing. Karel Čemus

Studijní program: Otevřená informatika, Magisterský

Obor: Softwarové inženýrství

24. dubna 2018



## Poděkování

Zde můžete napsat své poděkování, pokud chcete a máte komu děkovat.



## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 20. 5. 2018

.....





# Abstract

Translation of Czech abstract into English.

# Abstrakt

Abstrakt práce by měl velmi stručně vystihovat její obsah. Tedy čím se práce zabývá a co je jejím výsledkem/přínosem.

Očekávají se cca 1 – 2 odstavce, maximálně půl stránky.



# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
1.1	Jak číst tuto práci . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Analýza</b>	<b>3</b>
2.1	Byznysová pravidla . . . . .	3
2.1.1	Precondition . . . . .	4
2.1.2	Post-condition . . . . .	4
2.1.3	Reprezentace byznysového pravidla . . . . .	4
2.1.4	Byznysový kontext . . . . .	5
2.2	Architektura orientovaná na služby . . . . .	5
2.2.1	Common Object Request Broker Architecture . . . . .	6
2.2.2	Web Services . . . . .	6
2.2.3	Message Queue . . . . .	7
2.2.4	Enterprise Service Bus . . . . .	7
2.2.5	Microservices . . . . .	8
2.2.6	Orchestrace a choreografie služeb . . . . .	10
2.3	Nedostatky současného přístupu . . . . .	11
2.4	Identifikace požadavků na implementaci frameworku . . . . .	13
2.5	Shrnutí . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Rešerše</b>	<b>15</b>
3.1	Modelem řízená architektura . . . . .	15
3.2	Síťové architektury . . . . .	16
3.2.1	Architektura klient-server . . . . .	16
3.2.2	Architektura Peer-to-peer . . . . .	17
3.2.3	Representational state transfer . . . . .	18
3.2.4	Remote procedure call . . . . .	20
3.3	Aspektově orientované programování . . . . .	21
3.3.1	Motivace . . . . .	21

3.3.2	Názvosloví . . . . .	23
3.4	Aspect-driven Design Approach . . . . .	25
3.4.1	Možnosti aplikace . . . . .	25
3.4.2	Výhody a nevýhody . . . . .	26
3.5	Stávající řešení reprezentace business pravidel . . . . .	26
3.5.1	Drools DSL . . . . .	26
3.5.2	JetBrains MPS . . . . .	28
3.6	Shrnutí . . . . .	28
<b>4</b>	<b>Návrh . . . . .</b>	<b>31</b>
4.1	Formalizace architektury orientované na služby . . . . .	32
4.1.1	Join-points . . . . .	32
4.1.2	Advices . . . . .	32
4.1.3	Pointcuts . . . . .	32
4.1.4	Weaving . . . . .	32
4.2	Architektura frameworku . . . . .	32
4.3	Zachycení byznysového kontextu . . . . .	32
4.4	Metamodel byznys kontextu . . . . .	33
4.5	Expression . . . . .	33
4.6	Registr byznys kontextů . . . . .	33
4.7	Byznys kontext weaver . . . . .	33
4.8	Centrální správa byznys kontextů . . . . .	33
4.8.1	Uložení rozšířeného pravidla . . . . .	33
4.9	Service discovery . . . . .	34
<b>5</b>	<b>Implementace prototypů knihoven . . . . .</b>	<b>37</b>
5.1	Výběr použitých platform . . . . .	37
5.2	Sdílení byznys kontextů mezi službami . . . . .	38
5.2.1	Protocol Buffers . . . . .	38
5.2.2	gRPC . . . . .	39
5.3	Doménově specifický jazyk pro popis byznys kontextů . . . . .	40
5.4	Knihovna pro platformu Java . . . . .	42
5.4.1	Popis implementace . . . . .	43
5.4.2	Použité technologie . . . . .	43
5.5	Knihovna pro platformu Python . . . . .	44
5.5.1	Srovnání s knihovnou pro platformu Java . . . . .	44
5.5.2	Použité technologie . . . . .	45
5.6	Knihovna pro platformu Node.js . . . . .	45
5.6.1	Srovnání s knihovnou pro platformu Java . . . . .	46

5.6.2	Použité technologie . . . . .	47
5.7	Systém pro centrální správu byznys pravidel . . . . .	47
5.7.1	Popis implementace . . . . .	48
5.7.2	Detekce a prevence potenciálních problémů . . . . .	48
5.7.3	Použité technologie . . . . .	48
5.8	Shrnutí . . . . .	49
<b>6</b>	<b>Verifikace a validace</b>	<b>51</b>
6.1	Testování prototypů knihoven . . . . .	51
6.1.1	Platforma Java . . . . .	51
6.1.2	Platforma Python . . . . .	52
6.1.3	Platforma Node.js . . . . .	53
6.2	Případová studie: e-commerce systém . . . . .	54
6.2.1	Use-cases . . . . .	55
6.2.2	Model systému . . . . .	55
6.2.3	Byznysová pravidla a kontexty . . . . .	56
6.2.4	Služby . . . . .	56
6.3	Srovnání s konvenčním přístupem . . . . .	63
6.4	Shrnutí . . . . .	64
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>65</b>
7.1	Analýza dopadu použití frameworku . . . . .	65
7.2	Budoucí rozšiřitelnost frameworku . . . . .	65
7.2.1	Kvalitní doménově specifický jazyk . . . . .	65
7.3	Možností uplatnění navrženého frameworku . . . . .	66
7.4	Další možnosti uplatnění AOP v SOA . . . . .	66
7.5	Shrnutí . . . . .	66
<b>A</b>	<b>Přehledové obrázky a snímky</b>	<b>73</b>
<b>B</b>	<b>Seznam použitých zkratk</b>	<b>77</b>
<b>C</b>	<b>Obsah přiloženého CD</b>	<b>81</b>



# Seznam obrázků

2.1	Komunikace služeb pomocí Message Queue . . . . .	7
2.2	Komunikace služeb skrz Enterprise Service Bus . . . . .	8
2.3	Porovnání struktury monolitické architektury a microservices [43] . . . . .	9
2.4	Porovnání nasazení monolitické architektury a microservices [43] . . . . .	10
2.5	Porovnání orchestrace a choreografie služeb [16] . . . . .	11
2.6	Příklad zásahu jedné funkcionality do více služeb . . . . .	13
3.1	Architektura klient-server . . . . .	16
3.2	Architektura peer-to-peer . . . . .	17
3.3	Znázornění architektury REST . . . . .	19
3.4	Schéma komunikace RPC . . . . .	21
3.5	Průřezové problémy v informačních systémech . . . . .	22
3.6	Proces weavingu aspektů . . . . .	24
4.1	Diagram životního cyklu služby a identifikovaných join-pointů . . . . .	31
4.2	Diagram tříd metamodelu byznysového kontextu . . . . .	32
4.3	Diagram procesu inicializace byznysových kontextů . . . . .	33
4.4	Diagram aktivit weaverů byznysových pravidel . . . . .	34
4.5	Diagram procesu centrální správy byznysových kontextů . . . . .	35
6.1	Diagram tříd modelu ukázkového e-commerce systému . . . . .	56
6.2	Diagram komponent ukázkového e-commerce systému . . . . .	59
A.1	Formulář pro vytvoření nebo úpravu byznysového kontextu v centrální administraci . . . . .	74
A.2	Detail byznysového kontextu v centrální administraci . . . . .	74
A.3	Diagram hierarchie byznysových kontextů ukázkového systému . . . . .	75
A.4	Propagace byznysového pravidla při přidávání produktu do košíku v ukázkovém systému . . . . .	76





# Seznam zdrojových kódů

3.1	Příklad průřezových problémů zohledněných při vytváření objednávky . . . . .	23
3.2	Ukázka zápisu byznysového pravidla v jazyce Drools DSL . . . . .	27
5.1	Část definice schématu zpráv byznys kontextů v jazyce Protobuffer . . . . .	38
5.2	Definice služby pro komunikaci byznys kontextů pro gRPC . . . . .	40
5.3	Příklad zápisu byznys kontextu v jazyce XML . . . . .	41
5.4	Označení operačního kontextu a jeho parametrů pomocí anotací Java knihovny	43
5.5	Příklad použití dekorátorů pro weaving v jazyce Python . . . . .	45
5.6	Příklad dekorace funkce v JavaScriptu pro aplikaci weavingu . . . . .	46
6.1	Příklad jednotkového testu knihovny pro jazyk Java s využitím nástroje JUnit 4	52
6.2	Příklad jednotkového testu knihovny pro jazyk Python s využitím nástroje Unittest . . . . .	53
6.3	Příklad jednotkového testu knihovny pro platformu Node.js s využitím ná- stroje Mocha a Chai . . . . .	53
6.4	Ukázka využití frameworku Spring Boot pro účely Order service . . . . .	59
6.5	Ukázka využití frameworku Flask pro účely Product service . . . . .	60
6.6	Ukázka využití frameworku Express.js pro účely User service . . . . .	61
6.7	Ukázka zápisu Docker image obsahující knihovnu pro platformu Node.js . . .	62
6.8	Ukázka zápisu více-kontejnerové aplikace pro Docker Compose . . . . .	62



# Kapitola 1

## Úvod

[TODO

- popis tématu a jeho důležitost
- motivace práce
- co bude cílem a požadovaným výstupem této práce
- popis struktury DP

]

### 1.1 Jak číst tuto práci

<sup>1</sup> Kapitola 2 se věnuje detailní analýze problematiky byznysových pravidel a architektury orientované na služby, včetně jejího historického vývoje až po nejnovější trendy a v závěru identifikuje požadavky kladené na implementaci knihovny pro centrální správu a automatickou distribuci byznysových pravidel v této architektuře. Kapitola 3 se zabývá řešením stávajících přístupů k vývoji informacních systémů a speciálně se zaměřuje na koncepty aspektově orientovaného programování a moderního aspektu řízeného přístupu k návrhu systémů. Dále se kapitola věnuje průzkumu existujících nástrojů pro správu byznysových pravidel. Kapitola 4 formalizuje prostředí architektury orientované na služby do terminologie aspektově orientovaného programování a na základě této formalizace navrhuje koncept frameworku, který realizuje centrální správu a automatickou distribuci byznysových pravidel. V kapitole 5 je detailně probrána implementace knihoven pro navržený framework pro platformy

---

<sup>1</sup>[\[Intended Delivery: Popis struktury DP a obsah kapitol\]](#)

jazyků Java a Python a frameworku Node.js. Následující kapitola 6 popisuje, jakým způsobem byly tyto knihovny otestovány a jak byla prokázána jejich funkčnost. Zároveň je zde popsána validace a vyhodnocení konceptu frameworku jeho nasazením při vývoji jednoduchého ukázkového e-commerce systému. V poslední kapitole 7 je shrnuto, jakých cílů bylo v práci dosaženo a jakým dalším směrem se může výzkum v této oblasti ubírat.

<sup>2</sup> Zkratky používané v textu jsou vždy nejdříve zavedeny a vysvětleny. Pro přehlednost byl ale zároveň souhrn používaných zkratk přidán jako příloha práce A.

---

<sup>2</sup>[\[Intended Delivery: Zkratky\]](#)

## Kapitola 2

# Analýza

Tato kapitola analyzuje problematiku byznysových pravidel v informačních systémech. Dále detailně popisuje architekturu orientovanou na služby, včetně jejího historického vývoje a moderního trendu v podobě microservices. Na základě toho kapitola popisuje nedostatky současných přístupů při řešení průřezových problémů v těchto architekturách, s důrazem na byznysová pravidla. V závěru kapitoly jsou identifikovány požadavky, které by měl splňovat framework, jež bude výstupem této diplomové práce.

### 2.1 Byznysová pravidla

Informační systémy (IS) mají za úkol ulehčit, automatizovat či poskytovat podporu pro byznysové procesy společností, které je využívají. Tyto procesy jsou tedy stěžejním prvkem IS. Systém má také za úkol uchovávat a spravovat data společnosti a měl by zaručit, že nedojde k jejich poškození či narušení jejich integrity. Byznysové procesy, potažmo byznysové operace, proto musejí podléhat jasně definovaným byznysovým pravidlům, která zajišťují konzistenci dat informačního systému a také zabraňují nepovoleným operacím [14].

Byznysová pravidla dělíme do tří skupin [12]:

**Bezkontextová pravidla** jsou validační pravidla, která musejí být obecně platná v každé operaci, jinak by mohlo dojít k porušení integrity dat systému. Příkladem může být pravidlo „Adresa uživatele je platnou e-mailovou adresou“.

**Kontextová pravidla** jsou pravidla, která musejí být zohledněna v daném kontextu byznysové operace, například „Při přidání produktu do košíku nesmí součet položek v košíku přesahovat částku milion korun“

**Průřezová pravidla** jsou parametrizována stavem systému nebo uživatelského účtu a mají dopad na velkou část byznysových operací. Uvažme pravidlo „*V systému nesmí probíhat žádné změny po dobu účetní uzávěrky*“.

Dále také rozlišujeme dva typy byznysových pravidel, a těmi jsou *preconditions* a *post-conditions* [14].

### 2.1.1 Precondition

Aby mohla být byznysová operace vykonána, musejí být splněny předem definované podmínky, neboli předpoklady, které nazýváme *preconditions*. Pokud alespoň jedna z podmínek není splněna, byznysová operace nemůže proběhnout.

Pro lepší ilustraci uveďme příklad: aby mohla být provedena registrace uživatele s danou emailovou adresou, musí být splněna podmínka, že uživatel vyplnil svojí emailovou adresu, a zároveň dosud v systému neexistuje žádný uživatel se stejnou emailovou adresou.

### 2.1.2 Post-condition

Na byznysovou operaci mohou být kladeny požadavky, které musejí být splněny po jejím úspěšném vykonání. Příkladem může být anonymizace uživatelů při vytváření statistického reportu e-commerce společnosti – po vygenerování reportu post-condition zajistí, že z něj budou smazány veškeré citlivé údaje. Dalším případem může být filtrování výstupu byznysové operace. Například při výpisu objednávek pro zákazníka se chceme ujistit, že všechny vypsané objednávky patří danému zákazníkovi.

### 2.1.3 Reprezentace byznysového pravidla

Existuje několik možností, jak zachytit a reprezentovat byznysová pravidla [14]. Nejběžnější a nejpoužívanější metodou je jejich zachycení v programovacím jazyce. Tato metoda je snadná, protože programátor může použít stejný jazyk pro popis pravidel stejně jako pro popis celého systému. Bohužel, tato metoda nám nedává příliš možností jak provést inspekci a extrakci pravidel. Další, pokročilejší metodou, je zápis pravidel pomocí meta-instrukcí, například anotací, nebo tzv. *Expression Language* (EL). Tato metoda poskytuje dobrou možnost inspekce, ale zpravidla není typově bezpečná a může snáze způsobovat chyby v programu. Poslední, nejpokročilejší metodou, je zápis pomocí doménově specifických jazyků. Ty jsou snadno srozumitelné nejen pro programátory, ale i pro doménové experty. Nevyžadují inspekci a mohou být typově bezpečné. Mezi jejich nevýhody ale patří vysoká počáteční investice v podobě návrhu takového jazyka a nutnost jeho kompilace nebo interpretace.

### 2.1.4 Byznysový kontext

Informační systém zpravidla implementuje více byznysových procesů, které se vážou na jeden či více uživatelských scénářů. Uživatelský scénář se pak dělí na jednotlivé kroky, například zaslání potvrzovacího e-mailu k objednávce, či uložení objednávky do databáze. Tyto kroky nazýváme *byznysové operace* – tedy operace, které mají byznysovou hodnotu. Ke každé byznysové operaci přísluší množina byznysových pravidel, konkrétně preconditions a post-conditions.

Při běhu informačního systému je v paměti držen tzv. *exekeční kontext* (z anglického *execution context*), který se skládá z několika dílčích kontextů [15]. Prvním je *aplikační kontext* (z anglického *application context*), ve kterém je uložen stav globálních proměnných systému, jako např. nastavení produkčního režimu, nebo příznak o tom, zda právě probíhá obchodní uzávěrka. Dalším je *uživatelský kontext*, který obsahuje informace o aktuálně přihlášeném uživateli. *Kontext požadavku* (z anglického *Request context*) obsahuje informace o aktuálním požadavku, jako IP adresa uživatele či jeho geolokace, a vztahuje se zejména k webovým službám. Posledním je *byznysový kontext*. Ten chápeme jako množinu preconditions a post-conditions s byznysovou hodnotou, která se váže na konkrétní byznysovou operaci [14]. Abychom mohli efektivně definovat co nejširší škálu byznysových pravidel, musejí při jejich vyhodnocování být dostupné proměnné exekečního kontextu,

## 2.2 Architektura orientovaná na služby

<sup>1</sup> V posledních dekáдах můžeme sledovat trend nárůstu komplexity moderních informačních systémů, který je způsoben stále náročnějšími požadavky na jejich funkcionalitu, výkon a spolehlivost. To nutí vývojáře těchto systémů přizpůsobovat architekturu systému tak, aby uměla splnit všechny očekávané funkční i nefunkční požadavky, zejména pak škálovatelnost systému a jeho schopnost zvládat vysoký objem dat a uživatelů. *Architektura orientovaná na služby* (SOA) je důsledkem této evoluce. Na rozdíl od dříve běžné a dnes stále používané *monolitické architektury*, SOA podle známého pravidla „rozděl a panuj“ dělí systém na samostatné celky, zvané *služby*, které jsou zodpovědné za dílčí část požadované funkcionality.

<sup>2</sup> Historicky byl termín SOA vykládán různými způsoby a vývojáři si pod ním představovali několik rozdílných, nekompatibilních konceptů [29]. Zejména pak absence kvalitních definic toho, co vlastně služba je, vedla k vzájemnému nedorozumění, zmatení a v poslední době i ke snahám o opuštění tohoto konceptu [16]. Abychom lépe prozuměli tomu, co vlastně

---

<sup>1</sup>[Intended Delivery: Úvod do SOA, proč je potřeba]

<sup>2</sup>[Intended Delivery: Proč tu vlastně píšu o nějaké historii]

SOA je, popíšeme si její historický vývoj a shrneme výhody a nevýhody jednotlivých přístupů.

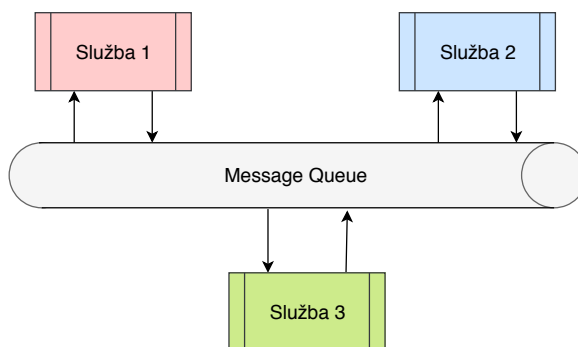
### 2.2.1 Common Object Request Broker Architecture

Prvním historickým předchůdcem architektury orientované na služby byla tzv. *Common Object Request Broker Architecture* (CORBA) [62], která vznikala v osmdesátých a devadesátých letech dvacátého století. Ta umožňuje komunikaci mezi aplikacemi implementovanými v různých technologiích a běžícími na vlastních strojích s rozdílnými operačními systémy. Základním stavebním kamenem této architektury je *Object Request Broker* (ORB), který emuluje objekty, na kterých může klient volat jejich metody. Při zavolání metody na objektu, který se fyzicky nachází v aplikaci na vzdáleném stroji, zprostředkovává ORB veškerou komunikaci a svému uživateli poskytuje jeho kompletní rozhraní. Uživatel tedy de facto nerozezná, kdy volá metodu na objektu, který je lokálně dostupný, a kdy volá metodu, kterou obsouží vzdálená služba. To je ale zároveň hlavní nevýhodou této architektury, protože komunikace se vzdáleným objektem s sebou nese celou řadu problémů, například mnohem vyšší latenci při komunikaci nebo výjimečné stavy, které je potřeba ošetřit. Ve chvíli, kdy klient není schopen rozeznat mezi metodou volanou lokálně či vzdáleně, se těžko přizpůsobuje těmto okolnostem, což vnáší do kódu zbytečnou komplexitu a zhoršuje jeho kvalitu kvůli obtížnější optimalizaci.

### 2.2.2 Web Services

Nedostatky architektury CORBA vedly k volbě jednoduššího formátu pro popis komunikace služeb, spolehlivějšího a méně komplikovaného kanálu pro komunikaci a celkové redukci objemu komunikovaných dat. Preferovanou cestou komunikace se na přelomu tisíciletí stal protokol HTTP, zatímco preferovaným formátem pro serializaci přenášených dat se stal jazyk XML. Postupně se upustilo od volání metod na vzdálených objektech a přijal se koncept explicitního posílání zpráv mezi službami. Pro popis schématu zpráv vznikl formát *Simple Object Access Protocol* (SOAP) [9], který v kombinaci s *Web Service Description Language* (WSDL) [19] umožňuje kompletní definici rozhraní pro komunikaci mezi službami. V průběhu dalších let vznikla také velmi populární architektura *Representational State Transfer* (REST) [26], která pro popis webových služeb využívá čistě protokol HTTP a jeho slovesa. To službám přináší společný slovník a umožňuje snazší dokumentaci a rychlejší orientaci vývojářů, kteří takovou službu implementují či konzumují. Kvůli těžkopádnosti XML se pro služby implementující REST architekturu stal preferovaným formátem přenosu *JavaScript Object Notation* (JSON). Nejnovějším formátem pro popis služeb, čerpající z nedostatků architektury REST, je *GraphQL*, se kterým v roce 2015 přišla společnost Google.





Obrázek 2.1: Komunikace služeb pomocí Message Queue

### 2.2.3 Message Queue

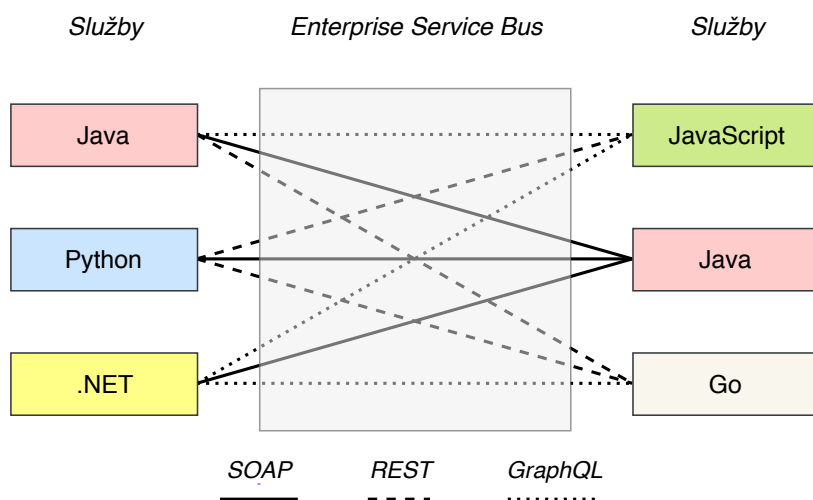
Dalším z konceptů, který v rámci SOA vznikl, je tzv. *Message Queue* (MQ). Základní myšlenkou MQ, znázorněnou na obrázku 2.1, je asynchronní komunikace služeb pomocí zpráv nezávislých na platformě. Komunikaci zprostředkovává fronta, která přijímá a rozesílá zprávy mezi službami. To přináší vyšší škálovatelnost a menší provázanost mezi službami. Všechny služby ale musí používat jednotný formát zpráv.

MQ přináší dva způsoby, kterými mohou služby komunikovat. Prvním je *Request/Reply*, připomínající konverzaci dvou lidí. Jedna služba zašle zprávu obsahující identifikátor konverzace. Druhá služba na obdrženou zprávu zašle odpověď a pomocí identifikátoru označí, ke které otázce odpověď patří. Druhým způsobem je *publish-subscribe*, kdy existuje více front s různými tématy (*topics*) a služby mohou do těchto front přispívat relevantními zprávami nebo je konzumovat jako odběratelé.

### 2.2.4 Enterprise Service Bus

Ačkoliv zmíněné modely usnadňují komunikaci služeb a zvyšují jejich spolehlivost, integrace služeb může být obtížná, pokud služby používají navzájem různé komunikační protokoly a formáty. Již v devadesátých letech minulého století byl představen koncept *Enterprise Service Bus* (ESB) [18], znázorněný na obrázku 2.2, který má za úkol propojit heterogenní služby a zajistit mezi nimi komunikační kanály. Tím na sebe ESB přebírá zodpovědnost za překlad jednotlivých zpráv a centralizuje veškerou komunikaci v systému.

ESB se zároveň staví do role experta na lokalizaci jednotlivých služeb. Službě tak pro komunikaci s okolním světem stačí znát adresu ESB, kterému zašle zprávu, a ten ji sám doručí na místo určení. Tento model ale znamená, že ESB je velmi komplexní komponentou. Výpadek ESB navíc v způsobí zastavení funkce celého systému a ESB se tak stává tzv. *single point of failure*, což v praxi snižuje škálovatelnost systému. V případě vlastního nízkého výkonu se ESB může snadno stát úzkým hrdlem. Tyto problémy mohou být částečně vyřešeny



Obrázek 2.2: Komunikace služeb skrz Enterprise Service Bus

tzv. *federovaným designem*, kdy je systém rozdělen na byznysově příbuzné části, z nichž každá má svůj **ESB**.

### 2.2.5 Microservices

<sup>3</sup> Novým trendem posledních let je architektura zvaná *Microservices*. Přináší několik zajímavých konceptů, které specializují a konkretizují principy **SOA**. Microservices se tedy dají chápat jako podmnožina **SOA**, ačkoliv existují i názory, že jde o odlišné architektury [61]. Základní myšlenkou je vývoj informačního systému jako množiny malých oddělených služeb, které jsou spouštěny v samostatných procesech a komunikují spolu pomocí jednoduchých protokolů [43].

<sup>4</sup> Důležitou myšlenkou microservices je organizace služeb kolem byznysových schopností systému. Namísto horizontálního dělení systému podle jeho vrstev<sup>5</sup> navrhuje rozdělit systém vertikálně podle jeho byznysových schopností. Na obrázku 2.3 je toto rozdělení demonstrováno. Příkladem může být dělení e-commerce systému na jednu službu obsahující byznysovou logiku pro registraci a správu uživatelů, druhou službu obsahující byznysovou logiku pro práci s produkty a třetí službu obsahující byznysovou logiku pro práci s objednávkami.

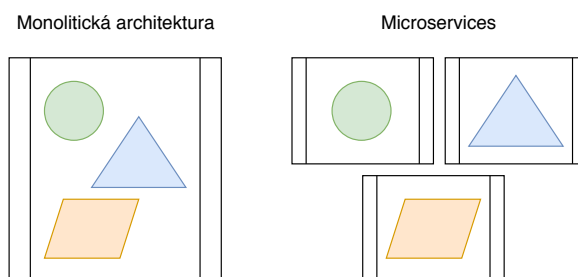
<sup>6</sup> Koncept microservices přemýšlí o službě jako o samostatné komponentě, kterou lze individuálně vyměnit či vylepšit, bez nutnosti zásahu do ostatních služeb [43]. Monolitická

<sup>3</sup>[Intended Delivery: Microservices a budoucnost SOA]

<sup>4</sup>[Intended Delivery: Stavba služeb kolem byznysových schopností]

<sup>5</sup> Zde předpokládáme klasickou třívrstvou architekturu [28], rozdělující systém na *datovou vrstvu*, *aplikační vrstvu* a *prezentační vrstvu*. Tyto vrstvy mají oddělené zodpovědnosti a komunikují spolu pomocí jasně definovaných společných rozhraní.

<sup>6</sup>[Intended Delivery: Myšlenka nahraditelnosti komponenty]



Obrázek 2.3: Porovnání struktury monolitické architektury a microservices [43]

architektura vyžaduje i při malé změně jedné části celý systém znovu zkompileovat, sestavit a nasadit. Malé služby sloužící ideálně jedinému byznysovému účelu lze naopak při změně byznysových požadavků snadno nahradit samostatně bez zásahu do zbytku systému. Tím se usnadňuje cyklus nasazení a spuštění nové verze služby.

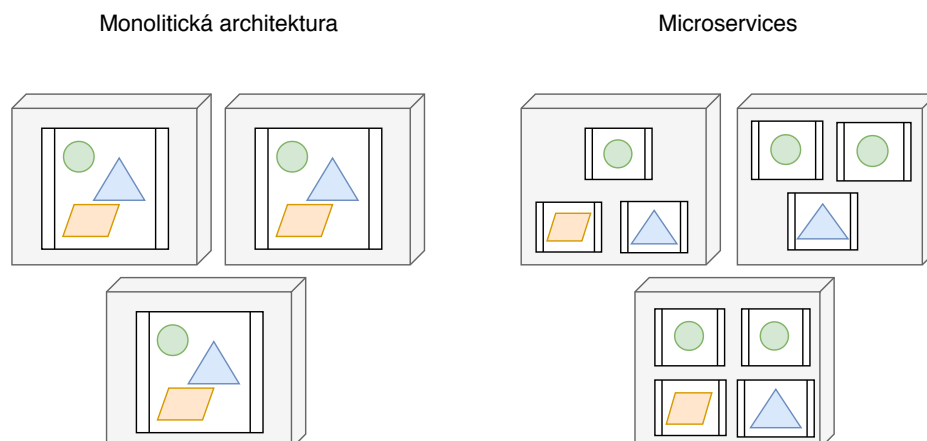
<sup>7</sup> Microservices také přináší koncept „smart endpoint, dumb pipes“, který opouští koncept [ESB](#) ve prospěch přesunutí veškeré byznys logiky na stranu služeb. Tím se zvyšuje zapouzdřenost služeb a snižuje se jejich vzájemné provázání. Nutno podotknout, že microservices často využívají ke své funkci Message Queues.

**Škálovatelnost** Další nespornou výhodou microservices je vysoká škálovatelnost systému. Pokud je na některou ze služeb kladen vyšší nárok na výkon než na ostatní, mají vývojáři možnost konkrétní službu horizontálně škálovat aniž by museli škálovat kompletně celý systém, na rozdíl od monolitické architektury. Srovnání přístupů je znázorněno na obrázku [2.4](#). Díky této vlastnosti je možné snížit nároky na systémové zdroje při zachování stejného výkonu.

**Využití rozličných technologií** Monolitické aplikace jsou často implementovány v jednom programovacím jazyce a využívají omezenou množinu technologií. Ne pro každý úkol je ale vhodný jeden programovací jazyk a s rostoucí velikostí informačního systému často roste i rozmanitost jeho funkcionality. Rozdělením systému na více služeb, které komunikují protokolem nezávislým na platformě, je vývojářům umožněno využít širší spektrum technologií a implementovat požadovanou funkcionalitu efektivněji.

**Decentralizace úložiště** Dalším z principů, které microservices přináší, je oddělení a decentralizace databázového úložiště. Každá služba, či cluster instancí jedné služby, zapisují a čtou data ze své oddělené databáze. Pokud potřebují načíst data jiné služby, musejí k tomu využít její [API](#). Tím se ještě výrazněji odděluje zodpovědnost služeb. Typickou

<sup>7</sup>[Intended Delivery: Myšlenka smart endpoints, dumb pipes]



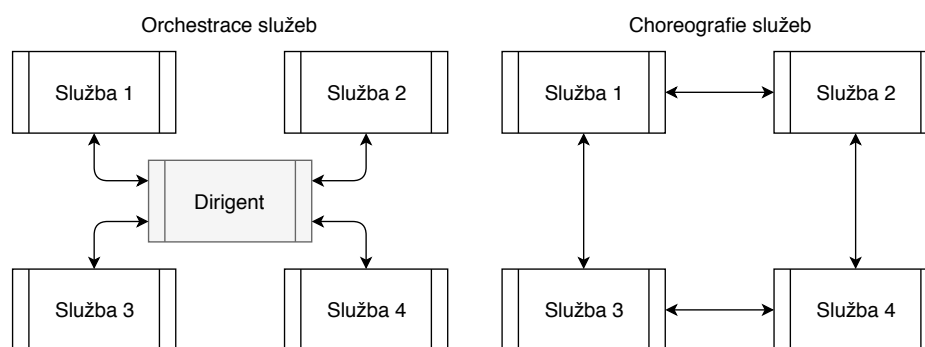
Obrázek 2.4: Porovnání nasazení monolitické architektury a microservices [43]

praktikou v rámci SOA je naopak sdílení jedné databáze mezi více službami, což je často dáno komerčním modelem externího dodavatele databáze. Jediná databáze má navíc obrovskou výhodu v transakčním zpracování, které je centralizované. V případě microservices je nutno transakce řešit distribuovaně, což je velmi náročný úkol a společnosti často volí koncept tzv. *eventual consistency*, kdy je preferována občasná nekonzistence v datech, která je následně manuálně opravena. Tento přístup je opodstatněn tím, že občasná manuální oprava může být často levnější než investice do kvalitního řešení distribuovaných transakcí – zejména pokud by jeho řešení znamenalo zpoždění vývoje produktu a způsobilo by ztrátu obchodní příležitosti [43].

### 2.2.6 Orchestrace a choreografie služeb

Jak již bylo zmíněno, aby informační systém skládající se ze služeb mohl vykonávat své funkce, musejí spolu služby komunikovat. Aby tato komunikace opravdu vedla ke správné funkci systému, musí podléhat jasně danému řádu.

**Orchestrace služeb** Pro vykonání byznysové operace je v rámci SOA často potřeba součinnost více služeb najednou. *Orchestrace služeb* má za úkol zajistit, že komunikace mezi službami proběhne úspěšně a ve správném časovém sledu [69], pomocí centrální komponenty – tzv. *dirigenta*. Abychom si mohli tento koncept lépe představit, uvažme následující příklad. Uživatel pomocí UI vytvoří a odešle objednávku. V tuto chvíli je spuštěn byznysový proces, který musí zajistit, že objednávka bude založena v databázi, budou o ní informováni skladníci, bude zažádáno o vytvoření faktury a nakonec bude odeslán potvrzovací e-mail zákazníkovi. Po úspěšném dokončení operace je navíc potřeba uživateli zobrazit v UI informaci, že vše proběhlo v pořádku. V případě orchestrace služba poskytující UI požádá dirigenta o



Obrázek 2.5: Porovnání orchestrace a choreografie služeb [16]

vytvoření objednávky a ten se již postará o komunikaci tohoto požadavku všem službám zapojeným do procesu. Typicky je jako dirigent využíván [ESB](#), který je pro tuto roli vhodný, protože má informace o lokaci jednotlivých služeb a zprostředkovává mezi nimi komunikační kanály.

**Choreografie služeb** Přímým opakem orchestrace je tzv. *choreografie služeb* a znamená vykonávání byznysových operací autonomně a asynchronně, bez centrální autority. V případě microservices je preferován tento přístup [20], protože orchestrace vede k vyššímu provázání služeb a nerovnoměrnému rozložení zodpovědností v systémech. Porovnání obou přístupů je pro lepší pochopení graficky znázorněno na obrázku 2.5 [54].

## 2.3 Nedostatky současného přístupu

<sup>8</sup> Jak jsme zjistili v předchozích odstavcích, [SOA](#) se zaměřuje zejména na dělení systému na služby a detailně rozebírá formu jejich vzájemné komunikace. Neodpovídá ale na několik závažných otázek, se kterými se v praxi musejí architekti informačních systémů vypořádat, aby architektura byla schopná uspokojivě plnit požadavky, které jsou na ní kladené.

<sup>9</sup> Jelikož jedním z cílů [SOA](#), potažmo microservices, je co nejvíce izolovat jednotlivé služby, mají tyto architektury tendenci duplikovat části kódu zajišťující funkcionalitu, která vyžaduje konzistentní zpracování ve více službách [16], tzv. *průřezových problémů* (z anglického *cross-cutting concerns*). Příkladem mohou být právě byznysová pravidla [12], která je potřeba zohlednit v rámci různých byznysových kontextů realizovaných ve více službách. Mezi další příklady se řadí logování, monitoring či sběr dat o telemetrii procesů.

<sup>8</sup>[Intended Delivery: Navázání na předchozí sekci]

<sup>9</sup>[Intended Delivery: Problémy SOA a průřezových problémů]

<sup>10</sup> Abychom si mohli lépe představit diskutovaný problém, znázorněme si ho na konkrétním příkladu. Uvažme e-commerce systém skládající se z několika služeb naprogramovaných v různých technologiích, organizovaných kolem jeho byznysových funkcí. Jedna služba obsluhuje byznysové operace vázající se na uživatele systému, jejich registraci a administraci. Druhá služba realizuje operace s produkty, jejich vytváření, úpravu, správu skladových zásob a informace o dostupnosti. Třetí služba je zodpovědná za vytváření a správu objednávek, informování uživatelů o změnách jejich stavů a vytváření statistik a reportů pro management. Čtvrtá služba má na starosti účetnictví, tedy vystavování a přijímání faktur a komunikaci s bankovními službami o potvrzení přijatých plateb. Poslední, pátá služba, poskytuje uživatelské a umožňuje komfortní obsluhu systému.

<sup>11</sup> Jak již víme, každá byznysová operace má své preconditions, které musejí být splněny, aby mohla být vykonána. Operace má také post-conditions, které musejí být aplikovány po skončení operace. Například při vytváření faktury za objednávku musí být zvalidována fakturační adresa, bez níž nemůže být faktura vystavena. Pokud chceme ušetřit práci účetníkům, kteří by v případě nevalidní adresy musely kontaktovat zákazníka – pokud vůbec takovou možnost mají – musíme tento fakt zohlednit již při vytváření objednávky. Proces vytváření objednávky ale realizuje jiná služba, než vystavování faktur. V ideálním případě bychom chtěli zákazníka upozornit na nevalidní fakturační adresu dynamicky ještě před odesláním objednávkového formuláře přímo v uživatelském rozhraní [15]. Pro lepší představu je problém znázorněn na obrázku 2.6,

<sup>12</sup> Z tohoto příkladu je jasné vidět, že stejná funkcionalita se promítá do tří služeb, z nichž každá má zodpovědnost za jiné byznysové operace. To znamená, že stejný kód, který realizuje validaci fakturační adresy, musí být implementován v každé ze služeb – v našem případě navíc ve třech různých programovacích jazycích. Ve chvíli, kdy vzejde požadavek na změnu validace fakturační adresy – řekněme, že chceme zobecnit validaci PSČ a umožníme přijímat i jeho tvar s mezerou – musíme stejnou změnu provést konzistentně na třech různých místech, všechny tři služby znovu sestavit a nasadit ve správném pořadí tak, aby nedošlo ke stavu, kdy jedna služba přijme nový tvar PSČ, ale navazující služba ho není schopna zpracovat.

<sup>13</sup> Pozorný čtenář může namítnout, že problém validace fakturačních adres by bylo možné vyřešit vyčleněním této funkcionality do samostatné služby a vystavit její rozhraní pro ostatní služby, v souladu s nosnou myšlenkou microservices. Je pravda, že microservices v názvu nese slovo „micro“ a evokuje tak, že služby by měly být co nejmenší a nést co nejméně zodpovědnosti. Může ale nastat stav, kdy je služba příliš malá? Pokud služby ponesou příliš

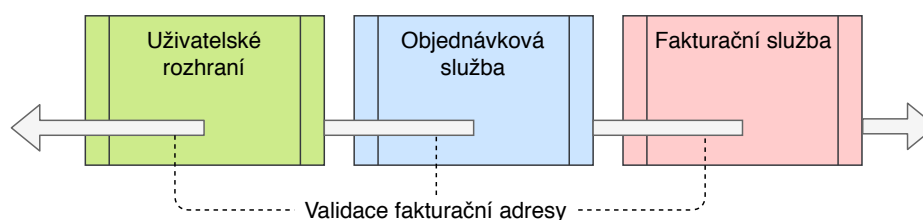
---

<sup>10</sup>[Intended Delivery: Nastínění konkrétního příkladu]

<sup>11</sup>[Intended Delivery: Konkrétní problémy zpracování průřezových problémů na příkladu]

<sup>12</sup>[Intended Delivery: Náročná údržba a reakce na změnu požadavku]

<sup>13</sup>[Intended Delivery: Microservices neříká nic o tom, jak velké je mikro]



Obrázek 2.6: Příklad zásahu jedné funkcionality do více služeb

málo odpovědnosti, přináší to s sebou několik problémů, které je nutné zvážit. Musíme mít na paměti, že nasazení a provoz každé služby s sebou přináší náklady navíc a zvyšuje časové nároky na jejich vývojáře a administrátory. Komunikace služeb po síti je navíc podstatně pomalejší a náchylnější na chybu, než komunikace jednotlivých komponent v rámci jednoho procesu. S rostoucím počtem *průřezových problémů* by tak i rychle rostl počet služeb v systému a celkové náklady na jeho vývoj a údržbu.

<sup>14</sup> Na příkladu můžeme vidět, že existuje typ problémů, které v rámci architektury orientované na služby při využití současného přístupu nejsme schopni uspokojivě vyřešit na jednom místě a vedou k duplikaci znalostí na více místech systému. Taková duplikace může vést k zvýšenému riziku lidské chyby vývojáře a tím k nekonzistentnímu chování systému. Navíc zvyšuje cenu na vývoj a údržbu systému.

## 2.4 Identifikace požadavků na implementaci frameworku

Z příkladu popsaného výše můžeme identifikovat požadavky, které by měly být zohledněny při návrhu a implementaci frameworku, který bude sloužit pro centrální administraci a automatickou distribuci byznysových pravidel v architektuře orientované na služby.

Framework, resp. jeho knihovny, by měly umožňovat:

- Definice byznys kontextů pomocí platformně nezávislého doménově specifického jazyka srozumitelného pro doménové experty
- Zápis preconditions a post-conditions pravidla jednotlivých byznys kontextů
- Možnost jednoho kontextu rozšiřovat jiné kontexty
- Možnost centrálně spravovat byznysové kontexty, včetně úpravy stávajících a vytváření nových kontextů, to vše dynamicky za běhu systému
- Automatickou distribuci kontextů, vyhodnocování jejich preconditions a aplikaci post-conditions

<sup>14</sup>[\[Intended Delivery: Shrnutí problémů\]](#)

- Možnost využívat framework na více platformách

## 2.5 Shrnutí

V této kapitole jsme nastínili problematiku vysoké complexity moderních informačních systémů a z toho vyplývající požadavky na jejich architekturu. Analyzovali jsme koncept byznysových pravidel a byznysových kontextů. Dále jsme prozkoumali architekturu orientovanou na služby, její výhody a nevýhody, její moderní evoluci v podobě microservices a identifikovali jsme nedostatky současných přístupů v řešení průřezových problémů, které zasahují do více služeb najednou. Nakonec jsme vyjmenovali požadavky, které by měl splňovat framework, jež bude výstupem této práce.



# Kapitola 3

## Rešerše

V této kapitole se budeme věnovat rešerši existujících řešení a výzkumu relevantního k tématu této práce. Prozkoumáme modelem řízenou architekturu, její výhody, nevýhody a vhodnost použití. Věnovat se budeme síťovým strukturám umožňujícím komunikaci služeb v rámci architektury [SOA](#). Dále se zaměříme na aspektově orientované programování a na něm založený inovativní přístup k návrhu informačních systémů [ADDA](#). Nakonec prozkoumáme existující nástroje a specializované jazyky pro zápis byznysových pravidel.

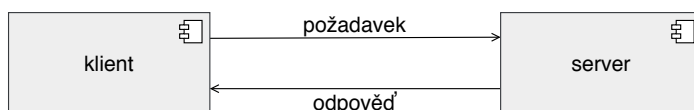
### 3.1 Modelem řízená architektura

Modelem řízená architektura ([MDA](#)) se zaměřuje na využití modelovacích nástrojů a jejich následnou transformaci do spustitelného kódu pomocí generativních nástrojů [\[63\]](#). Za specifikací [MDA](#) stojí konsorcium Object Modeling Group ([OMG](#)), která se zaměřuje na standardizaci modelovacích standardů pro software a stojí za modelovacím jazykem [UML](#), který je de facto globálním standardem pro vizualizaci statických i dynamických aspektů softwarových systémů.

[MDA](#) využívá Platform Independent Model ([PIM](#)), který popisuje systém pomocí platformově nezávislého [DSL](#), typicky pomocí [UML](#). Ten je následně převeden do Platform Specific Model ([PSM](#)), tedy modelu využívajícího specifických aspektů platformy, pro kterou má být systém postaven. Tím může být obecný programovací jazyk či jiné [DSL](#).

Hlavní výhodou [MDA](#) je vysoká úroveň abstrakce a z toho vyplívající deduplikace kódu. Pokud je byznysové pravidlo zachyceno v nejvyšší úrovni modelu, může pak snadno být distribuováno do systému na všechna místa, kde má být aplikováno. Další výhodou je usnadnění tvorby a zvýšení kvality kódu díky jeho automatickému generování.

Hlavní nevýhodou [MDA](#), která zabraňuje jejímu využití pro náš účel, je jednosměrný proces, kterým je kód z modelu generován. Pokud dojde ke změně požadavků, je potřeba



Obrázek 3.1: Architektura klient-server

přegenerovat celou aplikaci od [PIM](#) až k finálnímu kódu. Kód, který bylo nutno doplnit ručně, může snadno zastarat a je potřeba ho manuálně projít a opravit. Změna byznysových pravidel v našem případě by navíc při využití [MDA](#) vyžadovala znovu-nasazení celého systému, což je v přímém rozporu s požadavkem na možnost dynamicky upravovat či přidávat byznysová pravidla za běhu systému.

Další nevýhodou tohoto přístupu je jeho závislost na [OOP](#), které samotné není schopné se efektivně vypořádat s průřezovými problémy [\[12\]](#), jak si popíšeme v sekci [3.3](#). Ačkoliv je [MDA](#) známá již od roku 2000, generativní nástroje pro její podporu jsou stále nevyspělé a pro některé platformy úplně chybí.

## 3.2 Síťové architektury

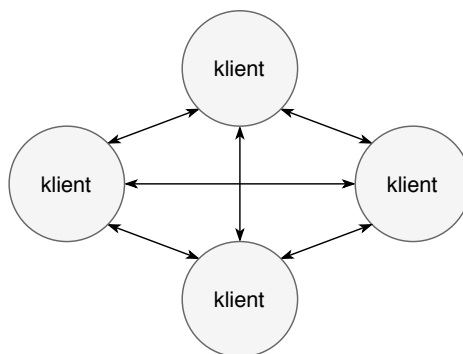
Jak jsme již naznačili v sekci [2.2](#), architektura orientovaná na služby staví na počítačových sítích, díky kterým spolu mohou jednotlivé služby efektivně komunikovat. Proto je vhodné provést rešerši základních síťových architektur, abychom mohli co nejlépe navrhnout framework pro centrální správu a automatickou distribuci byznysových pravidel.

### 3.2.1 Architektura klient-server

Model klient-server popisuje vztah mezi komponentami systému, klienty a serverem. Klient zašle požadavek serveru a ten mu vrátí odpověď [\[6\]](#). Tento model může být použit obecně i v rámci jednoho počítače, nejčastěji je však využíván v síťové komunikaci mezi více počítači. V tomto případě klient sestaví síťové spojení k serveru a po získání odpovědi od serveru spojení zase uzavře. Schéma komunikace je znázorněno na obrázku [3.1](#).

Tato architektura je jednou ze základních stavebních kamenů internetových protokolů. Je využívána zejména protokolem [TCP](#) [\[57\]](#), který je využíván ke komunikaci v síti Internet. Jako příklad si můžeme představit prohlížení internetových stránek. Uživatel zadá [URL](#) adresu stránky, kterou chce navštívit, a internetový prohlížeč, potažmo uživatelův osobní počítač, v roli klienta odešle požadavek na server nacházející se na dané adrese. Server požadavek přijme, zpracuje, a odešle odpověď obsahující tělo webové stránky. Klient stránku přijme a zobrazí pro koncového uživatele.

Tento přístup má několik zásadních výhod, díky kterým se stal široce využívaným. Díky svojí velmi obecné myšlence je nezávislý na jakékoliv platformě a jako klient i server mohou



Obrázek 3.2: Architektura peer-to-peer

sloužit jak vysoce výkonné počítače, tak i osobní počítače nebo chytré telefony, z nichž každý může využívat odlišné operační systémy – stačí aby klient i server uměl komunikovat stejným protokolem. Zároveň tato architektura přesouvá byznysovou logiku a ukládání dat na server a díky tomu umožňuje snadnější kontrolu nad systémem a jeho centrální administraci. S tím je spojena i snazší škálovatelnost systému. V neposlední řadě přináší model klient-server díky centralizaci i lepší zabezpečení, kdy server může jasně definovat a vynucovat přístupová pravidla.

Hlavní nevýhodou této architektury je vytvoření jednoho centrálního bodu, jehož výpadek ochromí funkci celého systému (v angličtině *single point of failure*). Tímto bodem je server. Pokud na serveru nastane chyba či výpadek, žádný z klientů není schopen využívat jeho služeb.

Pro sdílení byznysových pravidel se tato architektura jeví jako vhodná. Klient, který potřebuje byznysové pravidlo ke svému běhu, by zažádal server o dané pravidlo a poté by se postaral o jeho spuštění. Tím by bylo dosaženo automatické distribuce a integrace byznysových pravidel. Vzhledem k tomu, že server je v této architektuře centrální autorita, usnadnila by se tak centrální správa byznysových pravidel.

### 3.2.2 Architektura Peer-to-peer

Opakem modelu klient-server je síťová architektura zvaná *Peer-to-peer* (**P2P**). Jednotlivé počítače v síti spolu komunikují přímo, bez centrální autority. Všechny počítače v síti jsou si vzájemně rovnocenné. [32] Na obrázku 3.2 je architektura znázorněna. Hlavním cílem P2P sítě je distribuce dat nebo výpočetních operací.

Jednotliví klienti mezi sebou zpravidla vytvářejí virtuální síť, tzv. *overlay*, která je postavená nad fyzickou sítí, přes kterou jsou reálně zasílány zprávy. Typicky je tato virtuální síť podmnožinou fyzické sítě. Výhodou tohoto přístupu je, že klienti jsou abstrahováni od

fyzického uspořádání počítačů a mohou spolu komunikovat napřímo, i když mezi nimi mohou fyzicky být v síti zapojeny jiné počítače.

Nespornou výhodou architektury **P2P** je, že s rostoucím počtem klientů roste i kapacita a výkon sítě, narozdíl od modelu klient-server, kdy se klienti musí dělit o výkon serveru. Navíc v takové síti neexistuje *single point of failure* a tak se zvyšuje její robustnost.

Mezi silné nevýhody této architektury patří zvýšená bezpečnostní rizika způsobená tím, že klienti jsou otevřeni komunikaci s jakýmkoliv jiným, potenciálně nebezpečným, klientem. Potenciální útočník tak může velmi snadno využít zranitelností na dálku. Další hrozbou je to, že některý z klientů může *otrávit* síť (z anglického *network poisoning*) podvrženými daty. Podstatnou nevýhodou může být absence jakékoliv centrální správy sdílených dat.

Ačkoliv se může **P2P** jevit jako vhodný přístup pro sdílení byznysových pravidel díky svojí orientaci na sdílení dat, vysoké datové propustnosti a robustnosti, právě absence centrální správy by mohla uvrhnout systém do nekonzistentního stavu při úpravě či přidání byznysového pravidla. Tato architektura totiž implikuje, že by byznysové pravidlo bylo replikováno a distribuováno mezi více uzlů sítě. Změna pravidla by se tak musela šířit postupně napříč systémem, přičemž některé uzly by stále využívaly starou verzi pravidla, a nad samotným šířením by neměl administrátor systému kontrolu.

### 3.2.3 Representational state transfer

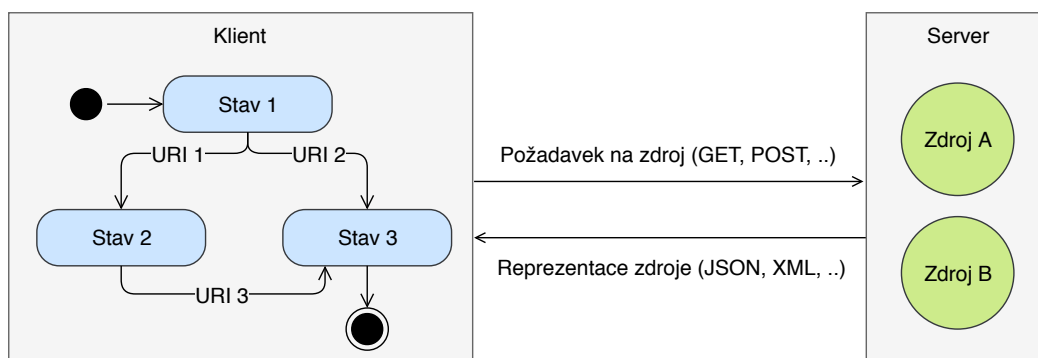
Representational state transfer [26] (**REST**) je architektura webových služeb, která staví na protokolu **HTTP**, a klade na systém několik architektonických omezení, díky kterým může systém dosáhnout lepšího výkonu, vyšší škálovatelnosti, jednoduchému používání díky jednotnému rozhraní a lepší odolnosti vůči chybám. V roce 2000 ho ve své dizertační práci představil Roy Fielding, který je zároveň hlavním autorem specifikace **HTTP** 1.1 [25].

**REST** chápe data systému jako množinu zdrojů (z anglického *resources*), nad kterými jsou prováděny operace pomocí **HTTP** požadavků. K odlišení operací nad jedním zdrojem jsou využívány slovesa protokolu **HTTP**, zejména pak **GET** pro čtení, **POST** pro vytváření, **PUT** pro úpravu a **DELETE** pro mazání. Tím jsou zastřešeny všechny **CRUD** operace.

Principy architektury **REST** jsou:

**Klient-server** Systém by měl využívat model klient-server. Díky tomu může jasně rozdělit zodpovědnost za uživatelské rozhraní na klienta a zodpovědnost za ukládání dat na server. Díky tomu se zvyšuje škálovatelnost systému díky nižším nárokům na server.

**Bezstavovost** Každý požadavek na server by měl obsahovat všechny informace potřebné k jeho vykonání. Kromě těla **HTTP** požadavku se k tomuto účelu často využívají i hlavičky požadavku, například hlavička **Authorization** pro autentizaci uživatele kvůli



Obrázek 3.3: Znázornění architektury REST

přístupu k zabezpečeným zdrojům. Tím se zjednodušuje komplexita serveru, který plně přesouvá zodpovědnost za uchování stavu uživatelského rozhraní na klienta, jak je znázorněno na obrázku 3.3. Nutno poznamenat, že stav dat v systému je stále uchováván na serveru.

**Kešování** Odpovědi serveru musí obsahovat explicitní informaci o tom, zda lze odpověď uložit do cache. Díky tomu lze znovupoužívat data, která již server jednou vrátil, a jejich životnost má dlouhodobější charakter. Tím se zvyšuje výkon celého systému.

**Vrstvený systém** Klient by neměl mít možnost rozeznat, zda komunikuje přímo se serverem, nebo s prostředníkem, např. s proxy serverem, load balancerem nebo cache.

**Code-on-demand** Volitelným požadavkem na systém je tzv. *code-on-demand*, který umožňuje serveru vracet spustitelný kód jako odpověď. Klient kód poté spustí na své straně. Typickým příkladem jsou klientské JavaScriptové aplikace spouštěné ve webových prohlížečích.

**Jednotné rozhraní** Zdroje systému musejí mít unikátní identifikátor, např. **URI**. Zdroje jsou při komunikaci reprezentovány libovolným formátem, který se může lišit od interní reprezentace zdroje v programu, např. **JSON** či **XML**. Reprezentace zdroje musí být dostatečná k tomu, aby šlo na zdroji provést úpravu či smazání. Zprávy mezi klientem a serverem musejí obsahovat veškerá potřebná metadata, aby druhá strana mohla zprávu plně zpracovat. K tomu se používají například **HTTP** hlavičky **Content-type** či **Accept**, ve kterých je popsán typ reprezentace zdroje. Rozhraní by také mělo dodržovat koncept *Hypermedia as the engine of application state* (**HATEOAS**), který vyžaduje, aby server v odpovědích vracel metainformace o struktuře jeho **API**. Klient je tak schopen dynamicky navigovat v rozhraní serveru aniž by bylo vyžadováno předem znát přesné adresy zdrojů. Princip **HATEOAS** se však ve většině reálných **API** zanedbává či implementuje pouze částečně.

Nevýhody architektury **REST** spočívají zejména v náročnosti její korektní implementace, která se v praxi často zjednodušuje a tím degraduje její výhody. Přes rošířenost a popularitu této architektury ji stále mnoho vývojářů nezná do detailu a zanedbávají některé její části. Většina programovacích jazyků je založena na volání funkcí či metod, což svádí vývojáře ke špatnému návrhu systému. **REST** totiž naopak vyžaduje od vývojáře nad systémem přemýšlet jako nad množinou zdrojů. Jinou nespornou nevýhodou je náročná implementace transakcí, které zahrnují více zdrojů najednou. Protokol **HTTP** nepodporuje uzavření více požadavků do jedné atomické transakce. To může být problém v **SOA** zejména pokud je vyžadována kooperace více služeb najednou při vykonávání byznysové operace. Existují však koncepty, které využívají model Try-Cancel/Confirm [55], umožňující zajistit atomické transakce nad **REST** architekturou. Jak jsme již zmínili v sekci 2.2.5, moderní systémy se přiklánějí ke konceptu *eventual consistency*, kdy jsou tolerovány drobné nekonzistence, které jsou nakonec dořešeny manuálně, pokud je cena za ně menší než cena za implementaci systému, který by plně podporoval atomické transakce.

### 3.2.4 Remote procedure call

Remote procedure call (**RPC**) je podstatně starší architekturou než **REST**. Tento termín byl použit již v roce 1981 Brucem Nelsonem [53]. Architektura staví na modelu klient-server a její princip je velmi jednoduchý – umožňuje jednomu procesu, klientovi, zavolat proceduru na druhém, vzdáleném procesu, tedy serveru. Klient zašle serveru zprávu, která vyžádá zavolání specifické procedury. Server proceduru provede a po jejím dokončení zašle klientovi odpověď s návratovou hodnotou. Klient poté může pokračovat ve své práci.

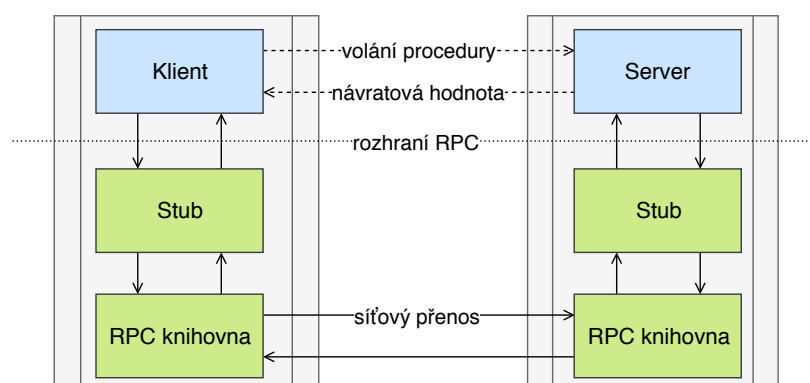
Zásadním bodem je fakt, že **RPC** kompletně obstarává komunikaci, a v programu samotném je vzdálená procedura volána stejným způsobem jako lokální procedury. Základním prvkem architektury na klientovi i na serveru je tzv. *stub*, tedy komponenta, která umožňuje volat vzdálenou proceduru lokálně a zapoždřuje veškerou síťovou komunikaci a serializaci či deserializaci argumentů, resp. návratových hodnot. Schéma komunikace je znázorněno na obrázku 3.4.

Představitelem architektury **RPC** je například technologie **CORBA**, kterou jsme již popsali v sekci 2.2.1, nebo technologie Remote Method Invocation (**RMI**) v jazyce Java. Modernějším pojetím je technologie gRPC [35] od společnosti Google<sup>1</sup>, která je v dnešní době hojně využívána úspěšnými technologickými společnostmi.

Již zmiňovanou nevýhodou abstrakce lokálních a vzdálených volání jsou negativní vlastnosti síťové komunikace, tedy její zvýšená latence a nižší robustnost. Pokud programátor nemá možnost zjistit, zda volá lokální či vzdálenou proceduru, výsledný kód může být těžké optimalizovat a správně ošetřit výjimky, které mohou při jeho běhu nastat.

---

<sup>1</sup><https://www.google.com/>

Obrázek 3.4: Schéma komunikace **RPC**

Na druhou stranu, narozdíl od **REST** není pro **RPC** potřeba implementovat komplexní middleware obstarávající síťovou komunikaci, serializaci a zpracování chyb. Middleware je zpravidla dodáván v podobě knihoven dané technologie. Některé systémy a jejich případy použití mohou být snadněji realizovány jako volání procedury než jako entita reprezentující systémový zdroj.

Vhodnost **RPC** architektury pro distribuci a správu byznysových pravidel je do značné míry ovlivněna tím, jakou konkrétní technologii využijeme. Stejně jako **REST** ani **RPC** ne-definuje jakým způsobem by měly být obslouženy transakce. Byli bychom tedy nuceni si transakční systém doimplementovat. To by však mohlo být o něco snažší díky tomu, že by obsluha transakce mohla být volána jako procedura, a tím bychom si ušetřili práci s obsluhovaným kódem.

### 3.3 Aspektově orientované programování

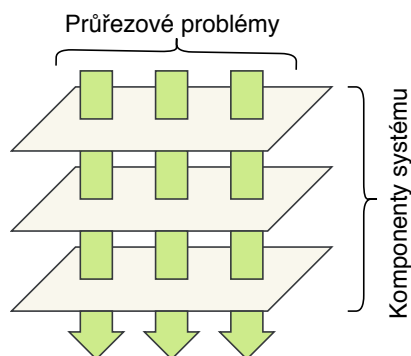
#### 3.3.1 Motivace

<sup>2</sup> Programování je komplexní disciplína s teoreticky neomezeným počtem možností, jakým programátor může řešit zadaný problém. Ačkoliv každá úloha má své specifické požadavky, za relativně krátkou historii programování se stihlo ustálit několik ideologií, tzv. programovacích paradigmat, které programátorovi poskytují sadu abstrakcí a základních principů [70]. Díky znalosti paradigmatu může programátor nejen zlepšit svou produktivitu, ale zároveň může snáze pochopit myšlenky jiného programátora a tím zlepšit kvalitu týmové spolupráce.

<sup>3</sup> Jedním z nejpopulárnějších paradigmat používaných k vývoji moderních enterprise

<sup>2</sup>[Intended Delivery: Co je paradigma]

<sup>3</sup>[Intended Delivery: OOP a jeho popis]



Obrázek 3.5: Průřezové problémy v informačních systémech

systémů je nepochybně objektové orientované programování (**OOP**). To vnímá daný problém jako množinu objektu, které spolu intereagují. Program člení na malé funkční celky odpovídající struktuře reálného světa [60]. Je vhodné zmínit, že objekty se rozumí jak konkrétní koncepty, například auto nebo člověk, tak i abstraktní koncepty, například bankovní transakce nebo objednávka v obchodě. Objekty se pak promítají do kódu programu i do reprezentace struktur v paměti počítače. Tento přístup je velmi snadný pro pochopení, vede k lepšímu návrhu a organizaci programu a snižuje tak náklady na jeho vývoj a údržbu.

<sup>4</sup> Ačkoliv je **OOP** velmi silným a všestranným nástrojem, existují problémy, které nelze jeho pomocí efektivně řešit. Jedním takovým problémem jsou obecné požadavky na systém, které musejí být konzistentně dodržovány na více místech systému, které spolu zdánlivě nesouvisí. Takové požadavky nazýváme *průřezové problémy* (z anglického *cross-cutting concerns*). V rámci **OOP** je programátor nucen v objektech manuálně opakovat kód, který zodpovídá za jejich realizaci. Duplikace kódu vede k větší náchylnosti na lidskou chybu a k vyšším nárokům na vývoj a údržbu daného softwarového systému [30]. Obrázek 3.5 znázorňuje vzájemné postavení průřezových problémů a komponent informačního systému.

<sup>5</sup> Příkladem průřezového problému může být logování systémových akcí, optimalizace správy paměti nebo uniformní zpracování výjimek [41], ale i aplikace byznysových pravidel [12]. Uvažme e-commerce systém a zpracování transakcí. To musí být zohledněno jak při vytváření objednávek, tak při registraci nového uživatele – dvě byznysové akce, které by měly být podle **OOP** implementovány v naprosto odlišných objektech a striktně odděleny, ale část jejich funkcionality je identická, a tudíž dochází k duplikaci kódu.

Ve zdrojovém kódu 3.1 můžeme vidět, jak průřezové problémy zasahují do kódu imaginární třídy implementované v jazyce Java, která slouží pro vytváření objednávek v e-commerce systému popsáném v sekci 2.3. Můžeme si všimnout, že aspekt logování je zohled-

<sup>4</sup>[Intended Delivery: Nedostatky OOP]

<sup>5</sup>[Intended Delivery: Konkrétní příklad nedostatku OOP]



Zdrojový kód 3.1: Příklad průřezových problémů zohledněných při vytváření objednávky

```

1 void createOrder(User user, Collection<Product> products, Address shipping,
2     Address billing) {
3     logger.info("Creating order"); // Logging aspect
4     transaction.begin(); // Transaction aspect
5     try {
6         validator.validateAddress(shipping); // Shipping business rules aspect
7         validator.validateAddress(billing); // Billing business rules aspect
8         Order order = new Order(user, product, shipping, billing);
9         database.save(order);
10        transaction.commit(); // Transaction aspect
11        logger.info("Order created successfully"); // Logging aspect
12    } catch (Exception e) {
13        transaction.rollback(); // Transaction aspect
14        logger.error("Could not create order"); // Logging aspect
15    }
16 }

```

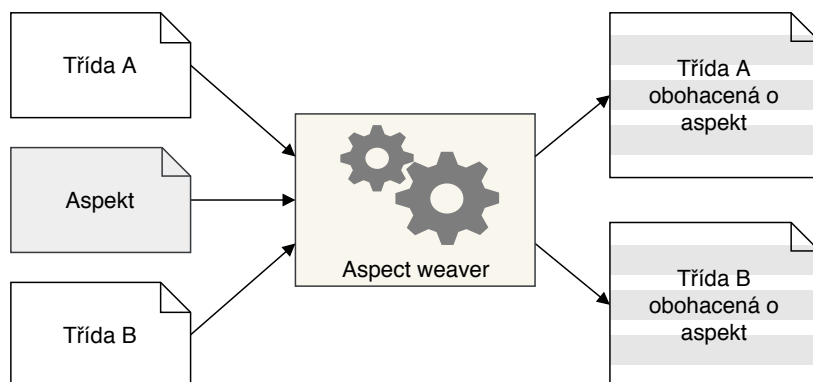
něh na třech místech, stejně jako aspekt transakcí. Navíc jsou zde zohledněna i byznysová pravidla pro validaci doručovací a fakturační adresy objednávky.

<sup>6</sup> Aspektově orientované programování (AOP) přináší řešení na výše zmiňované problémy. Extrahuje obecné požadavky, tzv. *aspekty* do jednoho místa a pomocí procesu zvaného *weaving* je poté automaticky distribuuje do systému. Weaving může proběhnout staticky při kompilaci programu nebo dynamicky při jeho běhu. V obou případech ale programátorovi ulehčuje práci, protože k definici i změně aspektu dochází centrálně a tím je eliminována potřeba manuální duplikace kódu. Je nutno poznamenat, že AOP není paradigmatickým poskytnutím kompletního frameworku pro návrh programu. V ideálním případě je tedy k návrhu systému využita kombinace AOP s jiným paradigmatickým. Pro účely této práce se zaměříme na kombinaci AOP a OOP.

### 3.3.2 Názvosloví

**Aspekt** Jak jsme již naznačili, základním pojmem v rámci AOP je *aspekt*, který zapoždřuje průřezovou funkcionalitu a zároveň adresuje místa, kde má být funkcionalita aplikována. Aspekt vždy obsahuje alespoň jeden *advice* a jeden *pointcut*.

<sup>6</sup>[Intended Delivery: AOP jako odpověď na nedostatky OOP]



Obrázek 3.6: Proces weavingu aspektů

**Join-point** Místo v kódu, na které může být aplikována funkcionality aspektu, se nazývá *join-point*. Typů *join-pointů* je více a závisí na použitém paradigmatu, na který je AOP aplikováno, a také na programovacím jazyce. V případě kombinace s OOP a klasickým víceúčelovým jazykem jako je například Java, mohou jako *join-pointy* sloužit konstruktory tříd, volání metod, zápis a čtení z atributu objektu, inicializace třídy nebo objektu a mnoho dalších.

**Pointcut** Ne každý aspekt je aplikován na každý *join-point*. Množina *join-pointů*, na které je jeden konkrétní aspekt aplikován, se nazývá *pointcut*. Tato množina může být určena staticky a být známá při kompilaci programu, nebo dynamicky za běhu programu, což přináší výpočetní složitost navíc. Dynamické určení *pointcutu* ale umožňuje vývojářům postihnout i případy, kdy nelze předem jasně určit místa, kde má být aspekt začleněn. Příkladem může být zpracování transakcí v zanořených byznysových operacích, kdy transakce má být započata pouze při vstupu do vnější operace a dokončena při výstupu z vnější operace.

**Advice** Funkcionality, kterou aspekt přidává v jeho *pointcutu*, se nazývá *advice*. Existuje více typů *advice*, podle toho, kam je přidaná funkcionality přidána. Například při volání metody může být funkcionality přidána před, za, nebo kolem metody.

**Weaving** Proces, kterým jsou *advice* začleňovány podle *pointcutu* do jednotlivých *join-pointů* se nazývá *weaving*. Ten může probíhat již při kompilaci nebo dynamicky za běhu programu, tzv. *run-time weaving*. Proces weavingu je ilustrován na obrázku 3.6. Komponenta zodpovědná za weaving se nazývá *aspect weaver*.

## 3.4 Aspect-driven Design Approach

Alternativním způsobem návrhu informačních systémů, který staví na principech [AOP](#), je Aspect-driven Design Approach<sup>7</sup> ([ADDA](#)) [12]. Tento přístup se zaměřuje na formalizaci jednotlivých komponent informačních systémů identifikování aspektů v informačních systémech a jejich separaci do jednoho bodu, tzv. *single focal point*. Následně přístup využívá weaving pro automatickou distribuci aspektů do systému. K popisu aspektu doporučuje využití doménově specifického jazyka, který bude navržen na míru danému průřezovému problému.

### 3.4.1 Možnosti aplikace

Autoři [ADDA](#) aplikovali tento koncept v několika oblastech [IS](#). Mezi tyto oblasti patří automatické začleňování byznysových pravidel do datové vrstvy informačních systémů [14], automatické generování uživatelských rozhraní citlivých na kontext uživatele [15], validaci vstupů formulářů v uživatelském rozhraní vůči byznysovým pravidlům [11][15] a automatické extrakci dokumentace [13].

**Automatické začleňování byznysových pravidel do datové vrstvy** Jednou z možných aplikací přístupu [ADDA](#) je automatické začleňování byznysových pravidel do datové vrstvy [IS](#)<sup>8</sup>. Byznysová pravidla jsou nejprve vhodně popsána pomocí [DSL](#) a následně jsou extrahována do jednoho bodu, ze kterého jsou automaticky distribuována. Pomocí specializovaného weaveru jsou pravidla překládána do podmínek jazyka [JPQL](#), potažmo [SQL](#), který je využíván k získávání dat z databázových systémů. To vede ke snížení manuální duplikace byznysových pravidel.

**Automatické generování uživatelského rozhraní** Uživatelská rozhraní tvoří až 48 % kódu informačních systému a zabírají až 50 % jejich vývojového času [40]. Do [UI](#) se přitom typicky promítá mnoho aspektů, které jsou již v systému obsaženy, a vývojáři je musí manuálně duplikovat. Typickým příkladem je struktura datového modelu, která se promítá zejména do struktury formulářů sloužících pro manipulaci s daty systému. Byznysová pravidla jsou promítána do [UI](#) při validaci vstupních dat formulářů na straně klienta [15]. Dalšími příklady může být lokalizace [UI](#) do různých jazyků nebo rozložení a stylizace jednotlivých ovládacích prvků, která je zpravidla uniformní v celém systému.

Autoři přístupu [ADDA](#) přicházejí s řešením v podobě využití několika [DSL](#) pro popis jednotlivých aspektů a run-time weavingu, který aspekty při běhu aplikace dynamicky začlení

---

<sup>7</sup>Autoři nejprve používali termín *Aspect-Oriented Design Approach* (AODA), který byla později změněn. Oba tyto pojmy jsou vzájemně zaměnitelné.

<sup>8</sup>Předpokládáme standardní třívrstvou architekturu informačních systémů [28]

do UI s ohledem na aktuální kontext uživatele, například na jeho geolokační polohu či velikost displeje, na kterém je rozhraní zobrazováno. Díky tomu je dosaženo významné redukce kódu [11] potřebného pro popis adaptibilního uživatelského rozhraní a tím jsou ušetřeny náklady na vývoj a údržbu informačního systému využívajícího tento přístup.

**Automatická extrakce dokumentace** Další oblastí informačního systému do které se promítají aspekty je jeho dokumentace [13]. Autoři ADDA využívají data mining pro získání metainformací o byznysových operacích, datovém modelu systému a o byznysových pravidlech. Díky tomu mohou automaticky vygenerovat seznam byznysových operací, potažmo implementovaných use-cases, strukturu doménového modelu a formální popis byznysových pravidel, který může sloužit pro verifikaci jejich správnosti.

### 3.4.2 Výhody a nevýhody

Jak můžeme pozorovat z uvedených příkladů, ADDA poskytuje vývojářům způsob jakým výrazně snížit náklady na vývoj a údržbu systému díky deduplikaci, která je dosažena extrakcí aspektů do *single focal point* a automatickou distribucí do komponent systému.

Je nutno poznamenat, že tento přístup má svoje úskalí v podobě vysoké počáteční investice, kterou vyžaduje vývoj specializovaných DSL a také dynamických aspect weaverů. Ačkoliv autoři tohoto přístupu implementovali prototypy knihoven umožňující požadovanou funkcionalitu, pro nasazení do reálného systému nejsou tyto knihovny připraveny.

Pro náš účel se však jeví přístup ADDA jako vysoce vhodný, protože rezonuje s cíli této práce. Přístup navíc splňuje požadavky identifikované v sekci 2.4, zejména využití speciálních DSL pro popis aspektů a jejich automatickou distribuci za běhu systému. Pro popis byznysových pravidel využívá ADDA nástroj Drools, který prozkoumáme v následující sekci.

## 3.5 Stávající řešení reprezentace business pravidel

### 3.5.1 Drools DSL

Framework Drools [21] vyvíjený společností JBoss<sup>9</sup> je open-source projekt realizující *business rule management engine* (BRMS), tedy nástroj pro vývoj a správu byznysových pravidel. Framework umožňuje realizovat tzv. *produkční systémy*, tedy systémy tvořené sadou *produkčních pravidel* určujících chování programu. Tato pravidla obsahují popis situace a její řešení v případě, že nastane. Jedná se tedy o formu umělé inteligence.

---

<sup>9</sup><http://www.jboss.org/>

Zdrojový kód 3.2: Ukázka zápisu byznysového pravidla v jazyce Drools DSL

```
1 rule "print user email"
2
3 dialect "mvel"
4 dialect "java"
5
6 when
7     $u : User( email != null )
8 then
9     System.out.println($u.name + ": " + $u.email);
10 end
```

Produkční pravidlo se skládá z levé strany (**LHS** z anglického *left-hand side*), a z pravé strany (**RHS** z anglického *right-hand side*), **LHS** popisuje situaci, při které má být pravidlo aplikováno. **RHS** popisuje akci, která má být vykonána.

Pro správnou funkci systému je nutno při vyhodnocování správně určit, která produkční pravidla mají být aplikována. Pro tento účel využívá framework Drools algoritmus RETE [27], který je přímo navržený pro párování pravidel produkčních systémů.

Součástí frameworku Drools je i speciální doménově specifický jazyk vyvinutý přímo pro modelování produkčních pravidel.

Ve zdrojovém kódu 3.2 můžeme vidět příklad zápisu byznysového pravidla v jazyce Drools DSL. Kromě názvu pravidla je v hlavičce uvedeno, které dialekty jsou v pravidle využity. Dialekt `mvel` je součástí Drools **DSL** a slouží pro zápis **LHS** i **RHS**. Dialekt `java` nám umožňuje pro **RHS** využít přímo jazyk Java. Popsané produkční pravidlo vypíše uživatelské jméno a email, pokud má uživatel email vyplněný.

Ačkoliv je jazyk Drools **DSL** vymodelovaný přímo pro zápis pravidel doménovými experty, odlišnost produkčních pravidel a byznysových pravidel tak, jak jsme si je zavedli v sekci 2.1 je na první pohled zřejmá. Pro naše účely bychom využili pouze **LHS**, protože nám stačí popsat nastalou situaci, ale o následnou akci se postará systém – v případě precondition je byznysová operace zastavena, v případě post-condition je aplikován filtr na všechny proměnné splňující danou podmínku. Zároveň jazyk Drools **DSL** postrádá nástroje pro kvalitní popis byznysového kontextu držícího byznysová pravidla, zejména pak rozšiřování jiných kontextů a popis typu jednotlivých pravidel [13]. V neposlední řadě nejsou ze strany frameworku Drools podporovány jiné platformy než Java a .NET, což nevyhovuje našim požadavkům na platformovou nezávislost.

### 3.5.2 JetBrains MPS

Zajímavým nástrojem z dílny společnosti JetBrains<sup>10</sup> je tzv. *MPS – Meta Programming System* [52], který si klade za úkol být univerzálním nástrojem pro tvorbu doménově specifických jazyků. Staví na konceptu *language-oriented programming (LOP)* [72], který se zaměřuje na vývoj velmi specifického jazyka, který je následně použit pro implementaci programu namísto obecného mnohoúčelového jazyka. Pro překlad ze specifického jazyka do spustitelného kódu je použit automatický překladač. Příkladem jazyka, který využívá koncept *LOP* je  $\text{\LaTeX}$ , který byl využit pro sazbu této diplomové práce. Ten totiž pomocí maker jazyka  $\text{\TeX}$  sestavuje abstraktnější jazyk, který umožňuje autorovi soustředit se hlavně na strukturu textu, aniž by se musel příliš detailně zabírat samotnou sazbou.

MPS umožňuje uživateli definovat gramatiku speciálního *DSL* a následně poskytuje editor pro tento jazyk včetně validace. MPS podporuje také transformování kódu napsaného v definovaném jazyce do jiných, nížeúrovňovějších jazyků, zejména pak do jazyka Java. Díky tomu lze nejen vytvářet libovolné *DSL*, ale také rozšiřovat existující jazyky – například přidat do jazyka Java podporu pro jednoduchý vizuální zápis matic.

Výhoda tohoto přístupu je podobně jako u *MDA* vysoká úroveň abstrakce, která velmi dobře odděluje problém návrhu systému od implementačních problémů. Navíc lze díky použití *DSL* zapojit do vývoje doménové experty a snížit tak zátěž na programátory, kteří se mohou více věnovat právě implementačním problémům. *DSL* typicky zvyšuje expresivitu kódu a díky tomu se zmenšuje jeho objem. Nižší objem kódu vede ke snížení nákladů na jeho údržbu a vývoj [46][65]. Významnou výhodou MPS, potažmo *LOP*, je vysoká portabilita vyvinutého jazyka. Pro migraci na jinou platformu stačí doprogramovat překladač jazyka, ale samotný jazyk může zůstat zachovaný.

Z výčtu výhod plyne, že bychom mohli MPS využít k popisu byznysových pravidel, resp. byznysových kontextů. Tím bychom získali silný aparát k zachycení a znovupoužití pravidel a jejich transformaci do neomezeného počtu jazyků pro využití na mnoha platformách. Podobně jako u *MDA* je však problém v dopředném generování – pro případ úpravy pravidla za běhu programu bychom museli nějakým způsobem upravované pravidlo přetransformovat z dané platformy zpět do našeho *DSL*, upravit ho pomocí editoru MPS, a následně ho opět přeložit do spustitelného jazyka pro danou platformu. To by vyžadovalo potřebu překompilovat a znovunasadit všechny služby využívající dané pravidlo.

## 3.6 Shrnutí

V této kapitole jsme provedli rešerši *modelem řízené architektury*, jejích výhod a nevýhod. Prozkoumali jsme síťové architektury, které mohou být využity pro komunikaci služeb

---

<sup>10</sup><https://www.jetbrains.com/>

v architektuře [SOA](#) a zvážili vhodnost jejich použití pro účely této práce. Shrnuli jsme paradigma *aspektově orientovaného programování* a věnovali se inovativnímu přístupu k návrhu softwarových systémů *ADDA*. Nakonec jsme provedli rešerši stávajících řešení reprezentace byznys pravidel včetně komplexního frameworku *Drools* a zhodnotili jsme jeho vhodnost k řešení našeho problému.

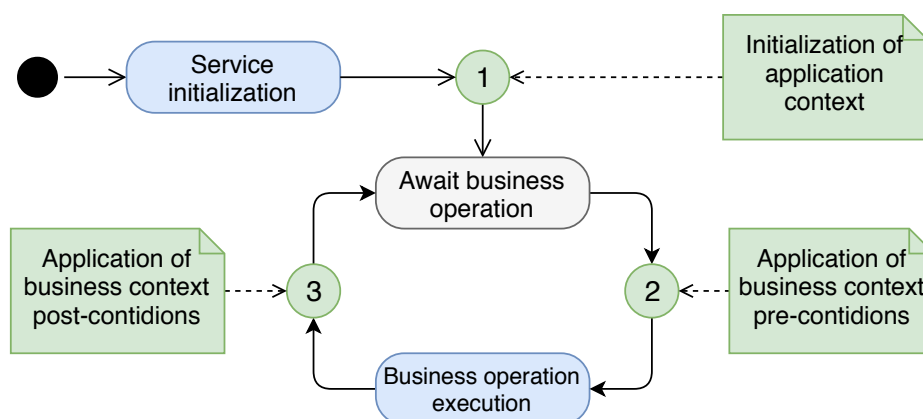




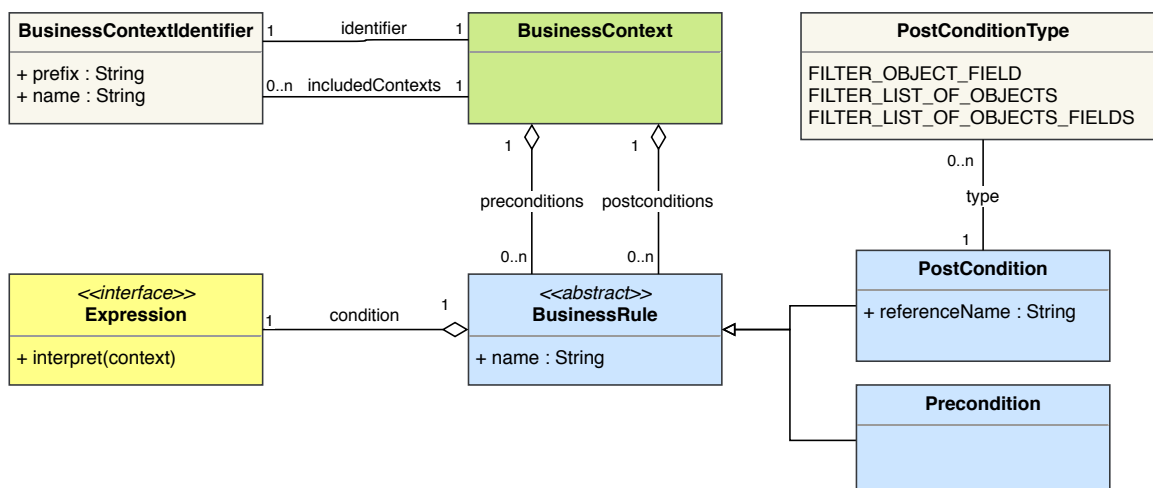
# Kapitola 4

## Návrh

V této kapitole ...



Obrázek 4.1: Diagram životního cyklu služby a identifikovaných join-pointů



Obrázek 4.2: Diagram tříd metamodelu byznysového kontextu

## 4.1 Formalizace architektury orientované na služby

### 4.1.1 Join-points

### 4.1.2 Advices

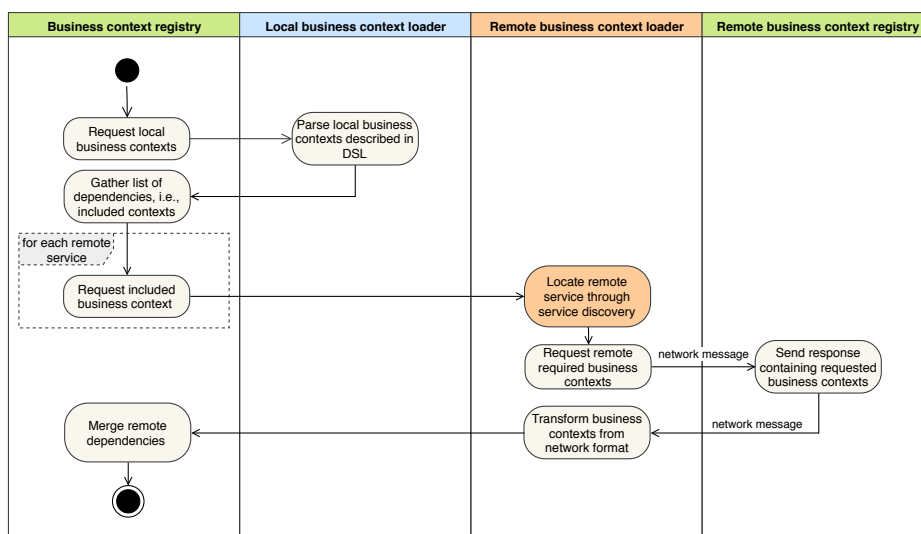
### 4.1.3 Pointcuts

### 4.1.4 Weaving

## 4.2 Architektura frameworku

## 4.3 Zachycení byznysového konextu

Přístup [ADDA](#) doporučuje popsat byznysová pravidla pomocí vlastního, na míru šitého, doménově specifického jazyka [14]. V našem případě můžeme jazykem [DSL](#) popsat kompletně i celý byznysový kontext.



Obrázek 4.3: Diagram procesu inicializace byznysových kontextů

## 4.4 Metamodel byznys kontextu

## 4.5 Expression

## 4.6 Registr byznys kontextů

## 4.7 Byznys kontext weaver

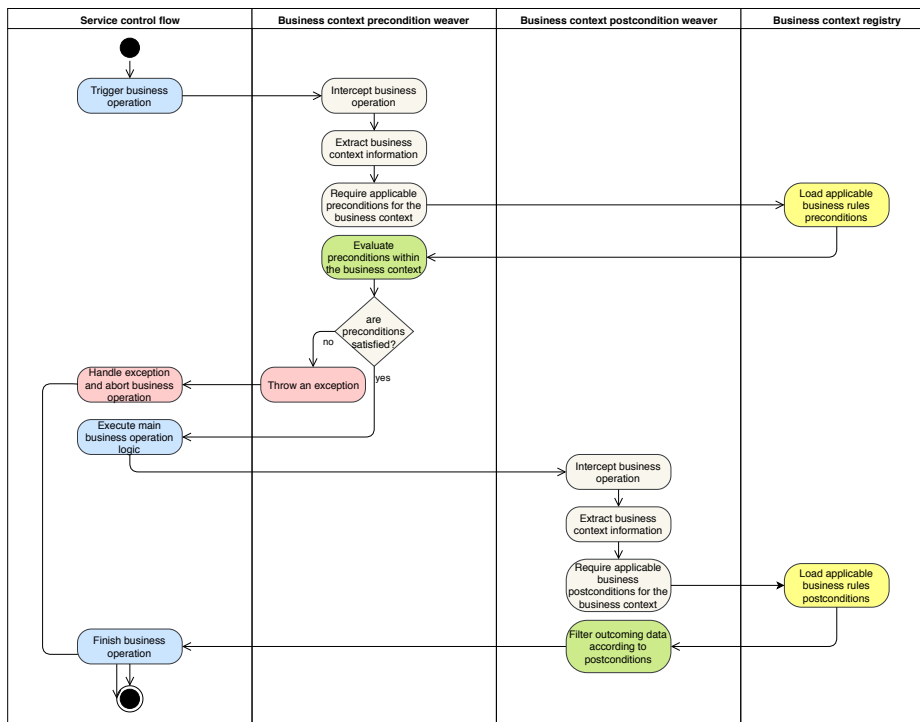
## 4.8 Centrální správa byznys kontextů

Vzhledem k nutnosti centralizovat správu byznysových kontextů se nám architektura P2P představená v subsekcí 3.2.2 nehodí. Při úpravě kontextů by totiž v systému mohly existovat staré i nové verze byznysových pravidel, což je pro správnou funkci systém nepřijatelné. Využijeme tedy architektury klient-server s více servery. Byznysové kontexty budou podle svého prefixu rozděleny do skupin a každou ze skupin bude spravovat jedna služba, která bude zároveň držet jejich aktuální a jediný stav.

### 4.8.1 Uložení rozšířeného pravidla

1

<sup>1</sup>[Intended Delivery: Diskutovat chaining vs. direct update]

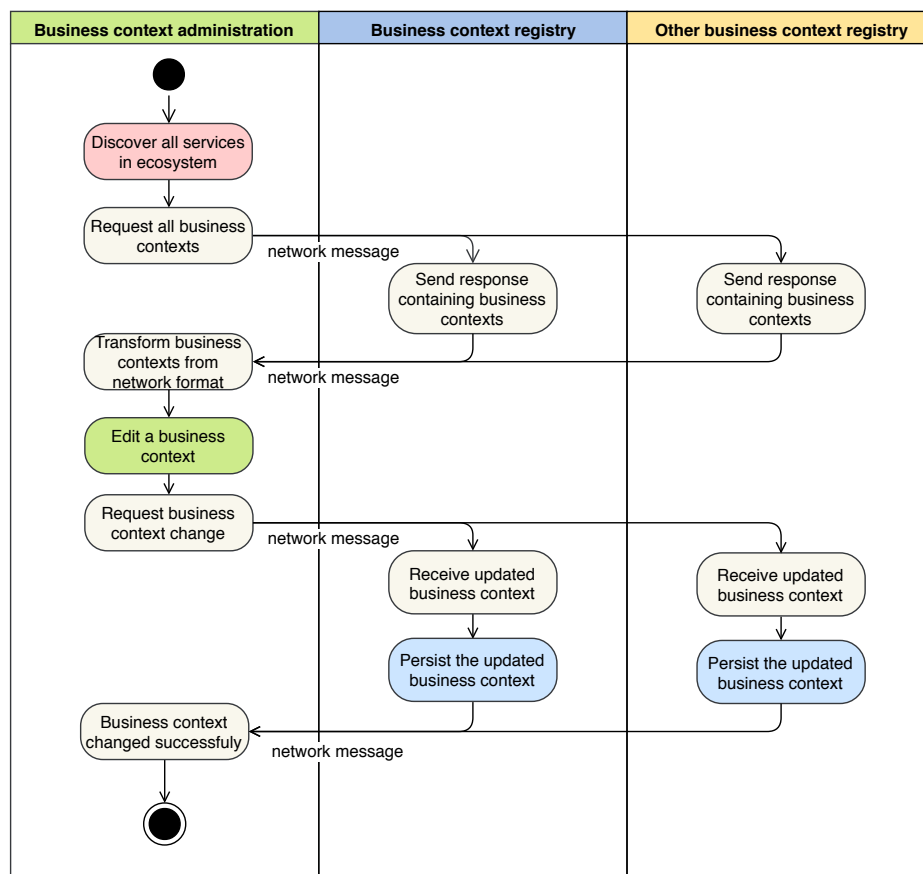


Obrázek 4.4: Diagram aktivit weaverů byznysových pravidel

## 4.9 Service discovery

2

<sup>2</sup>[Intended Delivery: Popsat nezávislost na service discovery]



Obrázek 4.5: Diagram procesu centrální správy byznysových kontextů



## Kapitola 5

# Implementace prototypů knihoven

<sup>1</sup> Součástí zadání této práce je implementace prototypů knihoven pro framework navržený v kapitole 4 pro tři rozdílné platformy, z nichž jedna musí být *Java*. V této kapitole si popíšeme, jaké platformy jsme vybraly, a jakým způsobem byly prototypy knihoven implementovány. Součástí kapitoly je i stručná rešerše technologií, které byly použity pro dosažení vytyčených cílů.

<sup>2</sup> Jelikož vycházejí implementace knihoven pro všechny platformy ze stejného návrhu, popíšeme si kompletní implementaci pro jazyk *Java* a ostatní implementace shrneme komparativní metodou.

<sup>3</sup> Pro splnění cílů bylo potřeba vyřešit také několik technických otázek, jako je přenos byznys kontextů mezi jednotlivými službami, výběr formátu pro zápis byznys kontextu, podpora aspektově orientovaného programování v daném programovacím jazyce a využití principu *runtime weavingu* a integrace knihoven do služeb, které je budou využívat.

### 5.1 Výběr použitých platform

<sup>4</sup> Mimo jazyk *Java*, který byl určen zadáním, byla pro implementaci vybrána platforma jazyka *Python* a platforma *Node.js*, který slouží jako běhové prostředí pro jazyk *JavaScript*. Výběr byl proveden na základě aktuálních trendů ve světě softwarového inženýrství. Projekt GitHub [58] z roku 2014, který shrnuje statistiky repozitářů populární služby pro hosting a sdílení kódu GitHub<sup>5</sup>, určil jazyky *JavaScript*, *Java* a *Python* jako tři nejaktivnější. Služba GitHub následně sama zveřejnila statistiky za rok 2017 v rámci projektu Octoverse [34]

---

<sup>1</sup>[Intended Delivery: Uvedení kapitoly a nastínění obsahu]

<sup>2</sup>[Intended Delivery: Nástin formátu kapitoly]

<sup>3</sup>[Intended Delivery: Technické implementační problémy]

<sup>4</sup>[Intended Delivery: Jaké jsme vybrali další platformy a proč]

<sup>5</sup><https://github.com/>

a dospěla ke stejnému závěru, ačkoliv Python se umístil na druhé pozici na úkor jazyka Java. Podle průzkumu oblíbeného programátorského webového portálu Stack Overflow [67] se umístily tyto jazyky v první čtveřici nejpopulárnějších jazyků pro obecné použití.

## 5.2 Sdílení byznys kontextů mezi službami

<sup>6</sup> Abychom mohli sdílet byznysové kontexty a jejich pravidla mezi jednotlivými službami, musíme mezi nimi vybudovat síťové komunikační kanály. Je tedy nutné zvolit protokol a jednotný formát, ve kterém spolu budou služby komunikovat. Tento formát musí být nezávislý na platformě a ideálně by měl být co nejefektivnější v rychlosti přenosu.

<sup>7</sup> Pro síťovou komunikaci se nabízí využít architekturu *klient-server*, kterou jsme detailněji popsali v sekci 3.2.1. Při sdílení kontextů lze chápat *klienta* jako službu, která pro svou funkci vyžaduje získání kontextu definovaného v jiné službě. Jako *server* lze naopak chápat službu, která poskytne své kontexty jiné službě, která na nich závisí. Jinými slovy, klient si vyžádá potřebné kontexty od serveru a ten mu je v odpovědi zašle. Může se také stát, že některá služba bude zároveň serverem jedné služby, a zároveň klientem druhé služby.

### 5.2.1 Protocol Buffers

<sup>8</sup> Pro přenos byznysových kontextů byl zvolen open-source formát *Protocol Buffers* [59][71] vyvinutý společností Google<sup>9</sup>. Umožňuje explicitně definovat a vynucovat schéma dat, která jsou přenášena po síti, bez vazby na konkrétní programovací jazyk. Zároveň poskytuje obslužné knihovny pro naše vybrané platformy. Navíc je díky binární reprezentaci dat v přenosu velmi efektivní, oproti formátům jako je JSON nebo XML [48]. Oproti protokolům *Apache Thrift* [2] a *Apache Avro* [74], které poskytují velmi srovnatelnou funkcionalitu, mají Protocol Buffers kvalitnější a lépe srozumitelnou dokumentaci.

Zdrojový kód 5.1: Část definice schématu zpráv byznys kontextů v jazyce Protobuffer

```
1 message PreconditionMessage {
2     required string name = 1;
3     required ExpressionMessage condition = 2;
4 }
5
6 message PostConditionMessage {
7     required string name = 1;
```

---

<sup>6</sup>[Intended Delivery: Formát pro přenos pravidel po síti a jeho výhody]

<sup>7</sup>[Intended Delivery: Architektura klient-server pro komunikaci kontextů mezi službami]

<sup>8</sup>[Intended Delivery: Proč jsme použili Protobuf]

<sup>9</sup><https://www.google.com/>



```
8      required PostConditionTypeMessage type = 2;
9      required string referenceName = 3;
10     required ExpressionMessage condition = 4;
11 }
12
13 message BusinessContextMessage {
14     required string prefix = 1;
15     required string name = 2;
16     repeated string includedContexts = 3;
17     repeated PreconditionMessage preconditions = 4;
18     repeated PostConditionMessage postConditions = 5;
19 }
```

Zdrojový kód 5.1 znázorňuje část zápisu schématu zasílaných zpráv obsahující byznys kontexty ve formátu Protobuffer. Schéma zpráv pro výměnu kontextů opisuje strukturu metamodelu navrženého v sekci 4.4.

**ExpressionMessage** obsahuje jméno, atributy a argumenty **Expression**

**ExpressionPropertyMessage** je enumerace obsahující typy atributu **Expression**

**PreconditionMessage** obsahuje název a podmínku precondition pravidla

**PostConditionMessage** obsahuje název, typ, název odkazovaného pole a podmínku post-condition pravidla

**PostConditionTypeMessage** je enumerace obsahující typy post-condition pravidla

**BusinessContextMessage** obsahuje identifikátor, seznam rožšířených kontextů, seznam preconditions a post-conditions byznys kontextu

**BusinessContextsMessage** obaluje více byznys kontextů

### 5.2.2 gRPC

<sup>10</sup> Pro realizaci architektury klient-server byl zvolen open-source framework gRPC [35], který staví na technologii Protocol Buffers a poskytuje vývojáři možnost definovat detailní schéma komunikace pomocí protokolu *RPC* [53]. Zdrojový kód 5.2 znázorňuje zápis serveru, který umožňuje svému klientovi volat metody `FetchContexts()`, `FetchAllContexts()` a `UpdateOrSaveContext()`.

---

<sup>10</sup>[Intended Delivery: Proč jsme použili gRPC]

Zdrojový kód 5.2: Definice služby pro komunikaci byznys kontextů pro gRPC

```
1 service BusinessContextServer {  
2     rpc FetchContexts (BusinessContextRequestMessage)  
3         returns (BusinessContextsResponseMessage) {}  
4  
5     rpc FetchAllContexts (Empty)  
6         returns (BusinessContextsResponseMessage) {}  
7  
8     rpc UpdateOrSaveContext (BusinessContextUpdateRequestMessage)  
9         returns (Empty) {}  
10 }
```

**FetchContexts()** je metoda, která umožňuje klientovi získat kontexty, jejichž identifikátory zašle jako argument typu `BusinessContextRequestMessage`. V odpovědi pak obdrží dotazované kontexty a nebo chybovou hlášku, pokud kontexty s danými identifikátory nemá server k dispozici.

**FetchAllContexts()** dovoluje klientovi získat všechny dostupné kontexty serveru. Tato metoda je využívána pro administraci kontextů, kdy je potřeba získat všechny kontexty všech služeb, aby nad nimi mohly probíhat úpravy a analýzy.

**UpdateOrSaveContext()** slouží pro uložení nového či editovaného pravidla, které je zasláno v serializované podobě jako jediný argument typu `BusinessContextUpdateRequestMessage`.

### 5.3 Doménově specifický jazyk pro popis byznys kontextů

<sup>11</sup> Ačkoliv není specifikace a vytvoření doménově specifického jazyka (**DSL**) hlavním úkolem této práce, pro ověření konceptu bylo nutné nadefinovat alespoň jeho zjednodušenou verzi a implementovat část knihovny, která bude umět jazyk zpracovat a sestavit z něj byznysový kontext v paměti programu.

<sup>12</sup> Pro popis kontextů byl jako kompromis mezi jednoduchostí implementace a přívětivostí pro koncového uživatele zvolen univerzální formát Extensible Markup Language (**XML**) [10]. Tento jazyk umožňuje serializaci libovolných dat, přímočarý a formální zápis jejich struktury a také jejich snadné aplikační zpracování. Zároveň poskytuje relativně dobrou čitelnost pro člověka, ačkoliv speciálně vytvořené **DSL** by bylo jistě čitelnější.

---

<sup>11</sup>[Intended Delivery: Popsat proč a jak jsme tvořili DSL]

<sup>12</sup>[Intended Delivery: Důvody pro výběr XML]

<sup>13</sup> Dokumenty XML se skládají z tzv. *entit*, které obsahují buď parsovaná nebo neparsovaná data. Parsovaná data se skládají z jednoduchých znaků reprezentujících prostý text a nebo speciálních značek, neboli *markup*, které slouží k popisu struktury dat. Naopak neparsovaná data mohou obsahovat libovolné znaky, které nenesou žádnou informaci o struktuře dat.

<sup>14</sup> Vzhledem k tomu, že XML je volně rozšiřitelný jazyk a neklade meze v možnostech struktury dat, bylo potřeba jasně definovat a dokumentovat očekávanou strukturu dokumentu popisujícího byznys kontext. Pro jazyk XML existuje vícero možností jak schéma definovat [42], od jednoduchého formátu DTD až po komplexní formáty jako je *Schematron*, či *XML Schema Definition (XSD)*, který byl nakonec zvolen. Díky formálně definovanému schématu můžeme popis byznys kontextu automaticky validovat a vyvarovat se tak případných chyb.

<sup>15</sup> Ve zdrojovém kódu 5.3 můžeme vidět příklad zápisu jednoduchého byznys kontextu s jednou precondition. Samotný zápis byznys kontextu je obsažen v kořenovém elementu `<businessContext>` a jeho název je popsán atributy `prefix` a `name`. Rozšířené kontexty jsou vyčteny v entitě `<includedContexts>`. Preconditions jsou definovány uvnitř entity `<preconditions>` a podobně jsou definovány `<postconditions>`. Obsažená data odpovídají navrženému metamodelu byznysového kontextu z kapitoly 4. Pro zápis podmínek jednotlivých preconditions a post-conditions byl zvolen opis Expression AST. Toto rozhodnutí vychází z předpokladu, že lze vzhledem k povaze prototypu relaxovat podmínku na čitelnost zápisu pravidel ve prospěch jednoduššího zpracování.

<sup>16</sup> Podařilo se nám navrhnout přijatelný formát zápisu byznys kontextu a implementovat části knihoven, které umějí formát číst a zároveň vytvářet. Tím jsme dosáhli možnosti zapisovat kontexty bez ohledu na platformu služby, která je bude využívat. Zároveň tomuto formátu mohou snáze porozumět doménoví experti a mohou se tak zapojit do vývojového procesu.

Zdrojový kód 5.3: Příklad zápisu byznys kontextu v jazyce XML

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <businessContext prefix="user" name="createEmployee">
3   <includedContexts/>
4   <preconditions>
5     <precondition name="Cannot use hidden product">
6       <condition>
7         <logicalEquals>

```

<sup>13</sup>[Intended Delivery: Popis jak XML funguje]

<sup>14</sup>[Intended Delivery: Popis jaký formát jsme zvolili pro formální zápis schématu XML dokumentu]

<sup>15</sup>[Intended Delivery: Popis formátu]

<sup>16</sup>[Intended Delivery: Shrnutí DSL]

```
8      <left>
9      <variableReference
10         objectName="product"
11         propertyName="hidden"
12         type="bool"/>
13    </left>
14    <right>
15      <constant type="bool" value="false"/>
16    </right>
17  </logicalEquals>
18 </condition>
19 </precondition>
20 </preconditions>
21 <postConditions/>
22 </businessContext>
```

## 5.4 Knihovna pro platformu Java

[TODO

- Popis business context registry
- Popis expression AST
- Popis tříd kolem business kontextu
- Popis XML parseru a generátoru
- Popis server a klient tříd pro obsluhu GRPC
- Popis weaveru
- Popis anotací pro AOP
- Návrhové vzory - builder pro kontexty a pravidla
- Návrhové vzory - visitor pro převod expression do xml
- Návrhové vzory - interpreter pro interpretaci pravidel

]

### 5.4.1 Popis implementace

Zdrojový kód 5.4: Označení operačního kontextu a jeho parametrů pomocí anotací Java knihovny

```
1 public class OrderService {
2
3     @BusinessOperation("order.create")
4     public Order create(
5         @BusinessOperationParameter("user") User user,
6         @BusinessOperationParameter("email") String email,
7         @BusinessOperationParameter("shippingAddress") Address shipping,
8         @BusinessOperationParameter("billingAddress") Address billing
9     ) { /* ... */ }
10 }
```

### 5.4.2 Použité technologie

**Apache Maven** <sup>17</sup> Pro správu závislostí a automatickou kompilaci a sestavování knihovny napsané v jazyce java byl zvolen projekt *Maven* [49]. Tento nástroj umožňuje vývojáři komfortně a centrálně spravovat závislosti jeho projektu včetně detailního popisu jejich verze. Dále také umožňuje definovat jakým způsobem bude projekt kompilován.

**AspectJ** <sup>18</sup> Knihovna AspectJ přináší pro jazyk Java sadu nástrojů, díky kterým lze snadno implementovat koncepty aspektově orientovaného programování, zejména pak snadný zápis pointcuts a kompletní engine pro weaving aspektů.

[TODO

- Ukázka kódu knihovny

]

---

<sup>17</sup>[Intended Delivery: Správa závislostí a buildu projektu]

<sup>18</sup>[Intended Delivery: Proč AspectJ a co to umí]

**JDOM 2** <sup>19</sup> Knihovna JDOM 2 [37] poskytuje kompletní sadu nástrojů pro čtení a zápis XML dokumentů. Implementuje specifikaci *Document Object Model* (DOM) [76], pomocí které lze programaticky sestavovat a číst XML dokumenty. Tuto knihovnu jsme využili pro serializaci a deserializaci DSL byznys kontextů popsaných v sekci 5.3.

## 5.5 Knihovna pro platformu Python

Knihovna pro platformu jazyka Python využívá jeho verzi 3.6. Pomocí nástroje *pip* [56] lze knihovnu nainstalovat a využívat jako python modul. Implementace odpovídá navržené specifikaci.

[TODO

- Srovnání řešení s knihovnou Java
- Problémy pythonu a jak byly vyřešeny
- Ukázka kódu knihovny
- Použité technologie
- Ukázka AOP v pythonu pomocí vestavěných dekorátorů
- Knihovna pro GRPC
- Popis weaveru

]

### 5.5.1 Srovnání s knihovnou pro platformu Java

**Weaving** Největším rozdílem oproti knihovně pro jazyk Java je implementace weavingu byznys kontextů. Jazyk Python totiž díky své dynamické povaze a vestavěnému systému dekorátorů umožňuje aplikovat principy aspektově orientovaného programování bez potřeby dodatečných knihoven či technologií. Zdrojový kód 5.5 znázorňuje definici a použití dekorátoru `business_operation`. Jak můžeme vidět, je potřeba dekorátoru předat samotný weaver, narozdíl od implementace v Javě, kdy se o předání weaveru postará dependency injection container.

---

<sup>19</sup>[Intended Delivery: Proč jdom2 a co to umí]

Zdrojový kód 5.5: Příklad použití dekorátorů pro weaving v jazyce Python

```
1 def business_operation(name, weaver):
2     def wrapper(func):
3         def func_wrapper(*args, **kwargs):
4             operation_context = OperationContext(name)
5             weaver.evaluate_preconditions(operation_context)
6             output = func(*args, **kwargs)
7             operation_context.set_output(output)
8             weaver.apply_post_conditions(operation_context)
9             return operation_context.get_output()
10
11         return func_wrapper
12
13     return wrapper
14
15
16 weaver = BusinessContextWeaver()
17
18
19 class ProductRepository:
20
21     @business_operation("product.listAll", weaver)
22     def get_all(self) -> List[Product]:
23         pass
24
25     @business_operation("product.detail", weaver)
26     def get(self, id: int) -> Optional[Product]:
27         pass
```

### 5.5.2 Použité technologie

## 5.6 Knihovna pro platformu Node.js

Knihovna pro platformu *Node.js* byla implementována v jazyce JavaScript, konkrétně jeho verzi ECMAScript 6.0 [22]. Implementace odpovídá specifikaci návrhu, umožňuje instalaci pomocí balíčkovacího nástroje a snadnou integraci do kódu výsledné služby.

### 5.6.1 Srovnání s knihovnou pro platformu Java

**Weaving** Podobně jako v knihovně pro jazyk Python, i v knihovně pro Node.js byl oproti knihovně pro jazyk Java největší rozdíl v implementaci weavingu. Platforma Node.js totiž nedisponuje žádnou kvalitní knihovnou, která by ulehčila využití konceptů aspektově orientovaného programování. Jazyk JavaScript je ale velmi flexibilní a lze tedy pro dosažení požadované funkcionality využít podobně jako pro jazyk Python princip dekorátoru jako funkce. Ačkoliv zápis dekorátoru není příliš elegantní a kvůli použití konceptu *Promise* [39] poněkud složitější, podařilo se weaving implementovat spolehlivě. Ukázku můžeme vidět ve zdrojovém kódu 5.6. Funkce `register()` obsahuje logiku pro registraci uživatele, která může obsahovat například uložení entity do databáze a odeslání registračního e-mailu. Při exportování funkce z Node.js modulu využijeme `wrapCall()`, která má za úkol dekorovat předanou funkci `func`, před jejím zavoláním vyhodnotit preconditions a po zavolání aplikovat post-conditions. Díky tomu bude každý kód, který využije modul definující funkci pro registraci uživatele, pracovat s dekorovanou funkcí.

**Využití gRPC** Narozdíl od implementací knihovny v jazycích Java a Python umí knihovna obsluhující gRPC fungovat i bez předgenerovaného kódu. To poněkud usnadnilo práci při serializaci byznys kontextů do přenosového formátu i při deserializaci a ukládání kontextů do paměti. Úspora kódu je ale na úkor typové kontroly a tak může být kód náchylnější na lidskou chybu.

Zdrojový kód 5.6: Příklad dekorace funkce v JavaScriptu pro aplikaci weavingu

```
1  const weaver = new BusinessContextWeaver(registry)
2
3  function register(name, email) {
4    return new Promise((resolve, reject) => {
5      // ...
6    })
7  }
8
9  function wrapCall(context, func) {
10   return new Promise((resolve, reject) => {
11     try {
12       weaver.evaluatePreconditions(context)
13       resolve()
14     } catch (error) {
15       reject(error.getMessage())
16     }
17   })
18 }
```



```
18     .then(_ => func())
19     .then(result => {
20         context.setOutput(result)
21         weaver.applyPostConditions(context)
22         return new Promise(
23             (resolve, reject) => resolve(context.getOutput())
24         )
25     })
26 }
27
28 exports.register = (name, email) => {
29     const context = new BusinessOperationContext('user.register')
30     context.setInputParameter('name', name)
31     context.setInputParameter('email', email)
32     return wrapCall(context, () => register(name, email))
33 }
```

### 5.6.2 Použité technologie

<sup>20</sup> Podobně jako byl použit nástroj Maven pro knihovnu v jazyce Java byl využit balíčkovací nástroj *NPM*, který je předinstalován v běhovém prostředí *Node.js*. Tento nástroj ale nedisponuje příliš silnou podporou pro správu automatických sestavení knihovny a v základním nastavení není ani příliš efektivní pro správu závislostí. Proto bylo nutné využít dodatečné knihovny, jmenovitě *Yarn* [24], *Babel* [3] a *Rimraf* [36].

## 5.7 Systém pro centrální správu byznys pravidel

[TODO

- Jak funguje systém
- Přehled, detail a úprava pravidla
- `BusinessContextEditor`
- Uložení pravidla

]

---

<sup>20</sup>[Intended Delivery: Použité technologie pro vývoj knihovny]

### 5.7.1 Popis implementace

#### BusinessContextEditor

### 5.7.2 Detekce a prevence potenciálních problémů

<sup>21</sup> Při úpravě nebo vytváření nového byznysového kontextu je potřeba detekovat případné chyby, abychom změnou neuvedli systém do nekonzistentního stavu. Kromě syntaktických chyb, které jsou detekovány automaticky pomocí definovaného schematu, je potřeba věnovat pozornost také sémantickým chybám. Závažné chyby, které mohou být způsobeny rozšiřováním kontextů, jsou

- a) Závislosti na neexistujících kontextech
- b) Cyklus v grafu závislostí kontextů

<sup>22</sup> Kontexty a jejich vzájemné závislosti lze vnímat jako orientovaný graf, kde uzel grafu reprezentuje kontext a orientovaná hrana reprezentuje závislost mezi kontexty. Směr závislosti můžeme pro naše účely zvolit libovolně.

<sup>23</sup> Detekce závislosti na neexistujících kontextech je relativně jednoduchým úkolem. Nejprve nastavíme seznam existujících kontextů a následně procházíme jednotlivé hrany grafu kontextů a ověřujeme, zda existují oba kontexty náležící dané hraně. Při zvolení vhodných datových struktur lze dosáhnout lineární složitosti v závislosti na počtu hran grafu.

<sup>24</sup> Pokud by závislosti v orientovaném grafu vytvořily cyklus, docházelo by při inicializaci služeb obsahující daná pravidla k zacyklení. Tomu můžeme předejít detekcí cyklů v grafu. Pro tuto detekci byl zvolen Tarjanův algoritmus [68] pro detekci souvislých komponent, který disponuje velmi dobrou lineární složitostí, závislou na součtu počtu hran a počtu uzlů grafu.

<sup>25</sup> V případě, že zápis nového či praveného kontextu obsahuje syntaktické chyby a nebo způsobuje některou z detekovaných chyb v závislostech, administrace nedovolí uživateli změnu provést a vypíše informativní chybovou hlášku.

### 5.7.3 Použité technologie

**Uživatelské rozhraní** Pro komfortní obsluhu centrální administrace bylo naprogramováno uživatelské rozhraní pomocí technologií Hypertext Markup Language [5] (HTML) a

---

<sup>21</sup>[Intended Delivery: Problémy způsobené rozšiřováním kontextů]

<sup>22</sup>[Intended Delivery: Chápání kontextů jako grafu]

<sup>23</sup>[Intended Delivery: Detekce závislostí na neexistujících kontextech]

<sup>24</sup>[Intended Delivery: Detekce cyklů v grafu závislostí]

<sup>25</sup>[Intended Delivery: Reakce na chyby]

Cascading Style Sheets [8] (CSS), které jsou již několik desetiletí standardem pro tvorbu webových uživatelských rozhraní. Detail byznysového kontextu v uživatelském rozhraní můžeme vidět na snímku A.2 a formulář pro úpravu na snímku A.1.

[TODO

- Uživatelské rozhraní v HTML + CSS
- Jak jsme použili Spring Boot a jeho MVC k nastavení základní webové aplikace
- Dependency Injection Container
- Využití knihovny pro platformu Java

]

## 5.8 Shrnutí

<sup>26</sup> Na základě navrženého frameworku jsme implementovali prototypy knihoven pro platformy jazyka Java, jazyka Python a frameworku Node.js. Knihovny umožňují centrální správu a automatickou distribuci byznysových kontextů, včetně vyhodnocování jejich pravidel, za použití aspektově orientovaného přístupu. Dále jsme specifikovali DSL, kterým lze popsat byznys kontext nezávisle na platformě.

<sup>27</sup> Veškerý kód je hostován v centrálním repozitáři ve službě GitHub<sup>28</sup> a je zpřístupněn pod open-source licencí MIT [75]. Knihovny pro jednotlivé platformy tedy lze libovolně využívat, modifikovat a šířit.

<sup>29</sup> Prototypy knihoven lze využít k implementaci služeb, potažmo k sestavení funkčního systému, jak si ukážeme v následující kapitole.

---

<sup>26</sup>[Intended Delivery: Dosáhli jsme vytyčených cílů implementace]

<sup>27</sup>[Intended Delivery: Hostování na GitHubu + licence]

<sup>28</sup> <https://github.com/klimesf/diploma-thesis>

<sup>29</sup>[Intended Delivery: Validaci a verifikaci si ještě ukážeme]



## Kapitola 6

# Verifikace a validace

V této kapitole si popíšeme, jaký způsobem byla provedena verifikace naprogramovaných knihoven pomocí jednotkových a integračních testů [47] a také jak byly knihovny nasazeny při vývoji ukázkového systému. Tím zároveň zvalidujeme koncept frameworku a shrneme výhody a nevýhody jeho použití.

### 6.1 Testování prototypů knihoven

Prototypy knihoven, jejichž implementaci jsme popsali v kapitole 5, byly důkladně otestovány pomocí sady jednotkových a integračních testů a tím byla verifikována jejich správná funkcionálnost. Způsob testování knihoven si popíšeme zvlášť pro každou platformu.

V rámci konceptu *continuous integration* (CI) [31] byl kód po celou dobu vývoje verzován systémem Git [33], zasílán do centrálního repozitáře a s pomocí nástroje Travis CI<sup>1</sup> bylo automaticky spouštěno jeho sestavení a otestování. Systém zároveň okamžitě informoval vývojáře o výsledcích. To umožnilo v krátkém časovém horizontu identifikovat konkrétní změny v kódu, které do programu vnesly chybu. Tím byla snížena pravděpodobnost regrese a dlouhodobě se zvýšila celková kvalita kódu.

#### 6.1.1 Platforma Java

Prototyp knihovny pro platformu jazyka Java byl testován pomocí nástroje JUnit [38], který poskytuje veškerou potřebnou funkcionálnost pro jednotkové i integrační testování. Všechny testy byly spouštěny automaticky při sestavování knihovny pomocí nástroje Maven [49].

---

<sup>1</sup><https://travis-ci.org/>

Zdrojový kód 6.1: Příklad jednotkového testu knihovny pro jazyk Java s využitím nástroje JUnit 4

```
1  import org.junit.Assert;
2  import org.junit.Test;
3
4  public class BusinessContextWeaverTest {
5
6      /* ... */
7
8      @Test
9      public void test() {
10         BusinessContextWeaver evaluator =
11             new BusinessContextWeaver(createRegistry());
12         BusinessOperationContext context =
13             new BusinessOperationContext("user.create");
14
15         context.setOutput(new User(
16             "John Doe",
17             "john.doe@example.com"
18         ));
19
20         evaluator.applyPostConditions(context);
21
22         User user = (User) context.getOutput();
23         Assert.assertEquals("John Doe", user.getName());
24         Assert.assertNull(user.getEmail());
25     }
26 }
```

Ve zdrojovém kódu 6.1 můžeme vidět jednotkový test třídy `BusinessContextWeaver` ověřující, že byly správně aplikovány post-conditions daného byznys kontextu, konkrétně že bylo správně zakryto pole `email` objektu `user`. Anotace `@Test` metody `test()` značí, že metoda obsahuje *test case* a framework JUnit zajistí, že bude spuštěna a vyhodnocena. Statické metody třídy `Assert` ověří, zda uživateli zůstalo vyplněno jméno, ale emailová adresa ne.

### 6.1.2 Platforma Python

Prototyp knihovny pro platformu jazyka Python byl testován pomocí nástroje `unittest` [1], inspirovaného nástrojem JUnit. Ačkoliv jméno obou nástrojů nasvědčuje, že slouží zejména

pro jednotkové testy, lze je plně využít i pro integrační testy.

Zdrojový kód 6.2: Příklad jednotkového testu knihovny pro jazyk Python s využitím nástroje Unittest

```
1 import unittest
2 from business_context.identifier import Identifier
3
4
5 class IdentifierTest(unittest.TestCase):
6     def test_split(self):
7         identifier = Identifier("auth", "loggedIn")
8         self.assertEqual("auth", identifier.prefix)
9         self.assertEqual("loggedIn", identifier.name)
10
11     def test_single(self):
12         identifier = Identifier("auth.loggedIn")
13         self.assertEqual("auth", identifier.prefix)
14         self.assertEqual("loggedIn", identifier.name)
15
16     def test_str(self):
17         identifier = Identifier("auth.loggedIn")
18         self.assertEqual('auth.loggedIn', identifier.__str__())
```

Ve zdrojovém kódu 6.2 je příklad jednotkového testu třídy `Identifier` se třemi metodami ověřujícími jeho správnou funkcionalitu. Funkce `test_split()` ověřuje, zda konstruktor správně přijímá dva argumenty, kde první z nich je prefix identifikátoru a druhý je jméno identifikátoru. Funkce `test_single()` naopak ověřuje, zda konstruktor správně přijímá jeden argument a rozdělí ho na prefix a jméno identifikátoru. Nakonec funkce `test_str()` ověřuje správnou funkcionalitu převedení identifikátoru na textový řetězec.

### 6.1.3 Platforma Node.js

Jelikož tendence ve světě moderního JavaScriptu je vytvářet knihovny s co nejmenším polem působnosti, které jdou kombinovat do většího celku, byl prototyp knihovny pro platformu Node.js testován pomocí kombinace několika nástrojů. Spouštění testů obstarává knihovna *Mocha* [51], zatímco o ověřování a zápis testů ve stylu *Behaviour Driven Development* (BDD) [64] se stará knihovna *Chai* [17].

Zdrojový kód 6.3: Příklad jednotkového testu knihovny pro platformu Node.js s využitím nástroje Mocha a Chai

```
1  const chai = require('chai');
2
3  // Imports ...
4
5  chai.should();
6
7  describe('IsNotNull', () => {
8    describe('#interpret', () => {
9      it('evaluates if the argument is null', () => {
10        const ctx = new BusinessOperationContext('user.create')
11        let expression = new IsNotNull(new Constant(
12          true,
13          ExpressionType.BOOL
14        ))
15        let result = expression.interpret(ctx)
16        result.should.equal(true)
17
18        expression = new IsNotNull(new Constant(
19          null,
20          ExpressionType.VOID
21        ))
22        result = expression.interpret(ctx)
23        result.should.equal(false)
24      })
25    })
26
27    // Other tests ...
28  })
```

Zdrojový kód 6.3 znázorňuje použití knihoven k ověření správné funkcionality výrazu `IsNotNull`. Konkrétně je nejprve zkonstruován s konstantním argumentem typu `boolean` s hodnotou `true` a je ověřeno, že výraz se vyhodnotí jako `true`. Následně je zkonstruován výraz, kterému je předán argument `null` a je ověřeno, že výraz se vyhodnotí jako `false`.

## 6.2 Případová studie: e-commerce systém

Abychom mohli navržený a implementovaný framework pro centrální správu a automatickou distribuci byznys pravidel verifikovat v praxi a validovat jeho myšlenku, bylo nutné



vyzkoušet jeho nasazení při vývoji aplikace. Pro tento účel vznikla v rámci této práce případová studie na fiktivním ukázkovém e-commerce systému využívající architekturu orientovanou na služby. Na tomto příkladě demonstrujeme schopnost frameworku poradit si s průřezovými problémy v rámci SOA a také jeho schopnost plnit požadavky identifikované v sekci 2.4.

### 6.2.1 Use-cases

Pro ukázkový systém bylo vymodelováno třináct případů užití (z anglického *Use case* (UC) [7]), jejich přehled je v tabulce 6.1.

#	Use-case
UC01	Nepřihlášený uživatel si může vytvořit zákaznický účet
UC02	Zákazník může prohlížet produkty
UC03	Zákazník může vkládat produkty do košíku
UC04	Zákazník může vytvořit objednávku
UC05	Skladník si může prohlížet produkty
UC06	Skladník může do systému zadávat nové produkty
UC07	Skladník může upravovat u produktů stav skladových zásob
UC08	Skladník si může zobrazovat objednávky
UC09	Skladník může upravovat stav objednávek
UC10	Administrátor si může prohlížet objednávky
UC11	Administrátor může upravovat cenu produktů
UC12	Administrátor může vytvářet uživatele (skladníky)
UC13	Administrátor může mazat uživatele (skladníky i zákazníky)

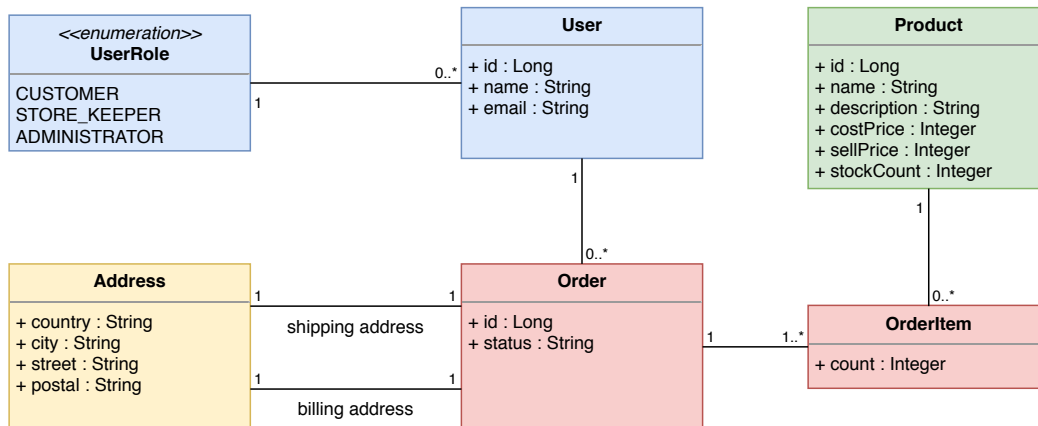
Tabulka 6.1: Přehled use-cases ukázkového e-commerce systému

### 6.2.2 Model systému

Na obrázku 6.1 můžeme vidět diagram tříd reprezentujících kompletní doménový model ukázkového systému.

- **UserRole** reprezentuje uživatelskou roli v systému.
- **User** je entita odpovídající uživateli, ať už zákazníkovi, či zaměstnanci.
- **Product** popisuje konkrétní produkt v nabídce společnosti a jeho nákupní a prodejní cenu.

- **Order** odpovídá objednávce, má vazbu na dodací a fakturační adresu a také na položky objednávky.
- **OrderItem** reprezentuje položku objednávky a uchovává údaje o počtu objednaných kusů produktu.
- **Address** je entita popisující dodací či fakturační adresu.



Obrázek 6.1: Diagram tříd modelu ukázkového e-commerce systému

Tento model je využíván v každé ze služeb. Nicméně, ne každá služba využije všechny jeho entity, ale pouze jejich podmnožinu, kterou potřebuje ke svojí práci.

### 6.2.3 Byznysová pravidla a kontexty

V tabulce 6.2 je výčet všech dvaceti byznysových pravidel, která byla vymodelována pro ukázkovou aplikaci. V tabulce kromě identifikátoru a popisu byznysového pravidla vidíme, na které užité případy se pravidlo aplikuje, a jaký je typ pravidla (*pre* pro precondition, *post* pro post-condition).

Dále jsou v tabulce 6.3 vypsané všechny byznysové kontexty v ukázkové aplikaci. Některé z nich jsou konkrétní a jsou namapovány na jeden nebo více UC, jiné jsou abstraktní a slouží ostatní kontexty je rozšiřují. Prefixy byly vybrány na základě byznysové domény, ke které se kontext vztahuje, stejně jako jsou podle domén děleny i jednotlivé služby systému.

Na obrázku A.3 je vizualizována hierarchie byznysových kontextů v ukázkovém systému, jejich vazba na UC a také byznysová pravidla, která se v kontextech aplikují.

### 6.2.4 Služby

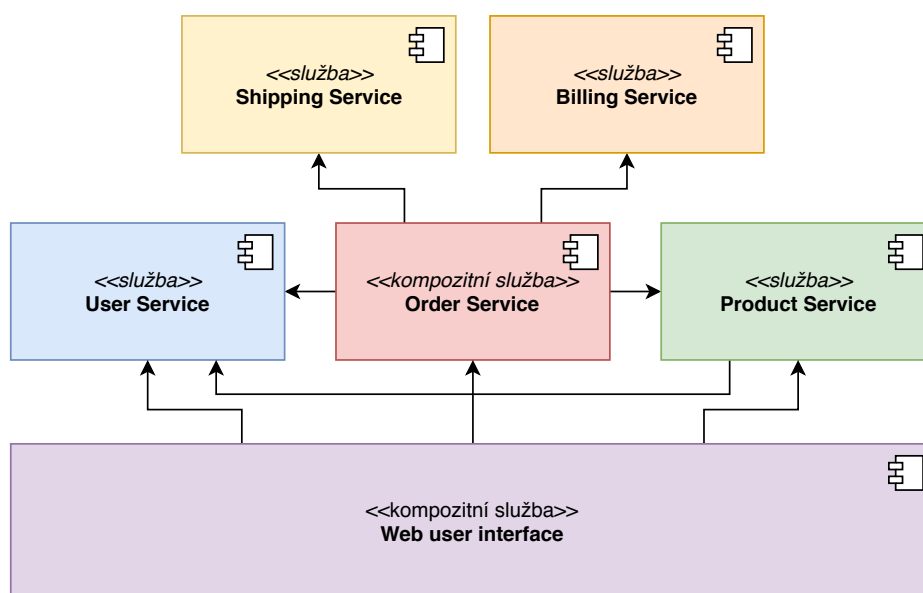
Na obrázku 6.2 jsou zobrazeny komponenty systému a jejich vzájemné závislosti. Pro ověření schopnosti podporovat více platforem byly pro implementaci systému využity jazyky

#	Use-cases	Pravidlo	Typ
<b>BR01</b>	UC01	Uživatel nesmí být přihlášený	pre
<b>BR02</b>	UC02, UC03	Uživatel nesmí zobrazovat ani manipulovat s produkty, které nejsou aktivní	post
<b>BR03</b>	UC02 až UC04	Uživatel nesmí u produktu vidět nákupní cenu, pouze výslednou cenu	post
<b>BR04</b>	UC04	Uživatel musí řádně vyplnit doručovací adresu (č.p., ulice, město, PSČ, stát)	pre
<b>BR05</b>	UC04	Uživatel musí řádně vyplnit fakturační adresu (č.p., ulice, město, PSČ, stát)	pre
<b>BR06</b>	UC01, UC04	Zákazník musí mít vyplněnou emailovou adresu	pre
<b>BR07</b>	UC04	Položky objednávky musí mít počet kusů větší než 0	pre
<b>BR08</b>	UC04	Položky objednávky musí mít počet kusů menší, než je aktuální stav skladových zásob produktu	pre
<b>BR09</b>	UC04	Stát musí být v seznamu zemí, do kterých firma doručuje	pre
<b>BR10</b>	UC04	Zákazník musí být přihlášen	pre
<b>BR11</b>	UC05 až UC09	Skladník musí být do systému přihlášen a mít roli "Skladník"	pre
<b>BR12</b>	UC05	Skladník u produktu nesmí vidět nákupní cenu, pouze výslednou cenu	post
<b>BR13</b>	UC06	Produkt musí mít jméno s délkou >5	pre
<b>BR14</b>	UC07	Stav zásob produktů musí být číslo větší nebo rovno 0	pre
<b>BR15</b>	UC08	Skladník nesmí vidět celkový součet cen objednávek	post
<b>BR16</b>	UC09	Stav objednávky musí být pouze "přijato", "expedováno" a "doručeno"	pre
<b>BR17</b>	UC10 až UC13	Administrátor musí být do systému přihlášen a mít roli "Administrátor"	pre
<b>BR18</b>	UC11	Výsledná cena produktu musí být větší než jeho nákupní cena	pre
<b>BR19</b>	UC12	Skladník musí mít jméno delší než 2 znaky	pre
<b>BR20</b>	UC12	Skladník musí mít emailovou adresu v platném formátu	pre

Tabulka 6.2: Přehled byznysových pravidel ukázkového e-commerce systému

Identifikátor	Use-cases	Byznysová pravidla
auth.adminLoggedIn	-	BR17
auth.employeeLoggedIn	-	BR11
auth.userLoggedIn	-	BR10
billing.correctAddress	-	BR05
order.addToBasket	UC03	BR02, BR08, BR10
order.changeState	UC09	BR04, BR05, BR06, BR08, BR09, BR11, BR16
order.create	UC04	BR03, BR04, BR05, BR06, BR07, BR08, BR09, BR10, BR16
order.listAll	UC08, UC10	BR11, BR15
order.valid	-	BR04, BR05, BR06, BR09, BR16
product.buyingPrice	-	BR03
product.changePrice	UC11	BR17, BR18
product.changeStock	UC07	BR08, BR11, BR14
product.create	UC06	BR10, BR11, BR13
product.hidden	-	BR02
product.listAll	UC02, UC05	BR02, BR03, BR12
product.stock	-	BR08
shipping.correctAddress	-	BR04, BR09
user.createCustomer	UC01	BR01, BR06
user.createEmployee	UC12	BR06, BR17, BR19, BR20
user.delete	UC13	BR17, BR21
user.validEmail	-	BR06

Tabulka 6.3: Přehled byznysových kontextů ukázkového e-commerce systému



Obrázek 6.2: Diagram komponent ukázkového e-commerce systému

Java, Python a JavaScript v kombinaci s běhovým prostředím Node.js. Komunikace služeb probíhá pomocí [REST API](#) využívající formát [JSON](#). Specifikace jednotlivých rozhraní služeb není pro tuto kapitolu podstatná a proto se jí nebudeme dále věnovat. Pro demonstrativní účely byly síťové adresy nastaveny přímo v kódu jednotlivých služeb. Nicméně, navržený framework nevynucuje tento přístup, a tudíž by složitější způsob *service discovery* nebylo problém do systému integrovat.

**Billing service** Služba *Billing service* má na starosti funkcionalitu týkající se fakturace objednávek a byla implementována v jazyce Java s použitím frameworku Spring Boot [66].

**Order service** Kompozitní služba *Order service* sloužící pro vytváření a správu objednávek byla implementována v jazyce Java a její [API](#) bylo sestaveno za použití frameworku Spring Boot [66], jak můžeme vidět ve zdrojovém kódu 6.4, kde je ukázka obsluhy požadavků na výpis zboží v košíku uživatele.

Zdrojový kód 6.4: Ukázka využití frameworku Spring Boot pro účely Order service

```

1 @RestController
2 public class ShoppingCartController {
3
4     /* ... */
5
6     @GetMapping("/shopping-cart")

```

```
7     public ResponseEntity<?> listShoppingCart() {
8         List<ShoppingCartItem> shoppingCartItems = shoppingCartFacade
9             .listShoppingCartItems();
10        return new ResponseEntity<>(
11            new ListShoppingCartItemsResponse(
12                shoppingCartItems.size(),
13                shoppingCartItems
14            ),
15            HttpStatus.OK
16        );
17    }
18
19 }
```

**Product service** Služba *Product service* realizuje UC týkající se prohlížení a administrací nabízených produktů a jejich skladových zásob. Služba byla implementována v jazyce Python. Pro vytvoření REST API služby byl využit populární light-weight framework *Flask* [73]. Ve zdrojovém kódu 6.5 můžeme vidět použití tohoto frameworku pro obsluhu požadavku na výpis všech produktů.

Zdrojový kód 6.5: Ukázka využití frameworku Flask pro účely Product service

```
1 from flask import Flask, jsonify
2
3 app = Flask(__name__)
4 product_repository = ProductRepository()
5
6 @app.route("/")
7 def list_all_products():
8     result = []
9     for product in product_repository.get_all():
10         result.append({
11             'id': product.id,
12             'sellPrice': product.sellPrice,
13             'name': product.name,
14             'description': product.description
15         })
16     return jsonify(result)
```

**Shipping service** Služba *Shipping service* má na starosti funkcionality týkající se odesílání objednávek a byla implementována v jazyce Java s použitím frameworku Spring Boot [66].

**User service** Služba *User service* realizující funkcionality týkající se uživatelských účtů byla implementována v jazyce JavaScript na platformě Node.js s použitím frameworku Express [23]. Ve zdrojovém kódu 6.6 je ukázka mapování controllerů na jednotlivé metody URL `/users`.

Zdrojový kód 6.6: Ukázka využití frameworku Express.js pro účely User service

```
1 module.exports = app => {  
2   const userController = require('../controllers/userController')  
3  
4   app.route('/users')  
5     .get(userController.listUsers)  
6     .post(userController.register)  
7  
8   app.route('/users/:userId')  
9     .get(userController.getUser)  
10 }
```

**Webové uživatelské rozhraní** Služba, která slouží uživatelům ukázkového systému jako webové uživatelské rozhraní, byla implementována v jazyce Java s použitím frameworku Spring Boot [66]. Na snímku A.4 je vidět UI ukázkového systému, konkrétně informování uživatele o tom, že se nepodařilo přidat produkt do košíku, protože bylo porušeno byznysové pravidlo – košík nesmí obsahovat více než 10 položek.

**Centrální správa byznysových pravidel** Do ukázkového systému byl nasazen také systém pro centrální správu byznysových kontextů, který je popsán v sekci 5.7. Systém byl napojen na všechny služby systému, kromě webového UI, a bylo úspěšně prokázáno, že lze za běhu systému dynamicky upravovat byznysové kontexty, resp. jejich byznysová pravidla.

**Běhové prostředí služeb** Pro jednoduché spuštění celého ukázkového systému byla využita technologie Docker [50], která umožňuje vytvořit virtuální běhové prostředí pro aplikaci pomocí kontejnerizace využívající virtualizaci nad operačním systémem. Uživatel si nadefinuje tzv. *image*, který se skládá z jednotlivých vrstev. Základní vrstvou je operační systém, dalšími mohou být jednotlivé knihovny instalované do systému. Příklad definice image pomocí technologie Docker můžeme vidět ve zdrojovém kódu 6.7. Konkrétně se jedná o definici

image, který rozšiřuje oficiální image `library/node:9.11.1` [44] stavějící nad operačním systémem *Linux* [45], a přidává vrstvy s prototypem knihovny našeho frameworku pro platformu Node.js.

Zdrojový kód 6.7: Ukázka zápisu Docker image obsahující knihovnu pro platformu Node.js

```
1 FROM library/node:9.11.1
2
3 WORKDIR /usr/src/framework
4 COPY ./nodejs/business-context ./business-context
5 COPY ./nodejs/business-context-grpc ./business-context-grpc
6 COPY ./proto ./proto
7
8 RUN cd ./business-context \
9     && yarn install \
10    && yarn link \
11    && npm run-script build \
12    && cd ../business-context-grpc \
13    && yarn install \
14    && yarn link business-context-framework \
15    && yarn link \
16    && npm run-script build
```

**Spouštění služeb** Pro samotné spuštění byla využita funkce *Compose*, která umožňuje definovat a spouštět více-kontejnerové aplikace. Ve zdrojovém kódu 6.8 můžeme vidět zápis Order service. Pro její image je použit `filipklimes-diploma/example-order-service`. V sekci `ports` deklarujeme, že služba má mít z vnějšku přístupný port 5501, na kterém poskytuje své [REST API](#), a port 5551, na kterém poskytuje své [gRPC API](#) pro sdílené byzysových kontextů. Order service je závislá na Product, Billing, Shipping a User service, což explicitně specifikujeme v sekci `depends_on`, aby Docker Compose mohl spustit služby ve správném pořadí. Nakonec pomocí `links` deklarujeme, že pro kontejner, ve kterém Order Service poběží, mají být na síti přístupné služby `product`, `user`, `billing` a `shipping`. Vše je popsáno ve formátu [YAML](#) [4], který je dnes běžně využíván pro konfigurační soubory, kvůli jeho snadné čitelnosti pro člověka a jednoduchému používání.

Zdrojový kód 6.8: Ukázka zápisu více-kontejnerové aplikace pro Docker Compose

```
1 version: '3'
2 services:
3   order:
4     image: filipklimes-diploma/example-order-service
```



#	Použito ve službách	#	Použito ve službách
<b>BR01</b>	user	<b>BR11</b>	auth, order, product
<b>BR02</b>	order, product	<b>BR12</b>	product
<b>BR03</b>	order, product	<b>BR13</b>	product
<b>BR04</b>	order, shipping	<b>BR14</b>	product
<b>BR05</b>	billing, order	<b>BR15</b>	order
<b>BR06</b>	order, user	<b>BR16</b>	order
<b>BR07</b>	order	<b>BR17</b>	(auth), product, user
<b>BR08</b>	order, product	<b>BR18</b>	product
<b>BR09</b>	order, shipping	<b>BR19</b>	user
<b>BR10</b>	(auth), order, product	<b>BR20</b>	user

Tabulka 6.4: Přehled využití byznysových pravidel ve službách ukázkového systému

5	<code>ports:</code>
6	<code>- "5501:5501"</code>
7	<code>- "5551:5551"</code>
8	<code>depends_on:</code>
9	<code>- product</code>
10	<code>- billing</code>
11	<code>- shipping</code>
12	<code>- user</code>
13	<code>links:</code>
14	<code>- product</code>
15	<code>- user</code>
16	<code>- billing</code>
17	<code>- shipping</code>

## 6.3 Srovnání s konvenčním přístupem

<sup>2</sup> Z tabulky 6.3 vidíme, že 60 % byznysových pravidel v ukázkovém systému je využíváno ve více kontextech, a polovina je využívána napříč více službami. V tabulce 6.4 je přehledně shrnuto, která pravidla jsou využívána ve kterých službách. Při použití konvenčního přístupu bychom museli tato pravidla implementovat alespoň jednou pro každou ze služeb, za předpokladu, že by nedocházelo k duplikacím ve službách samotných. Manuální duplikace navíc přináší nutnost synchronizovat podobu pravidla při každém změnovém řízení, což zvyšuje náklady na vývoj a riziko lidské chyby.

<sup>2</sup>[Intended Delivery: Ukázka na konkrétním příkladě]

<sup>3</sup> Díky použití naší knihovny je však možné každé pravidlo nadefinovat centrálně a framework se postará o jeho automatickou distribuci do všech míst, kde je potřeba ho aplikovat. Díky tomu je možno byznysová pravidla, resp. kontexty, spravovat pomocí nástroje pro centrální správu, který je součástí našeho frameworku. Z toho vyplývá snížení nároků na vývoj a snížené riziko lidské chyby.

<sup>4</sup> Jako nevýhodu použití frameworku můžeme považovat počáteční investici v podobě integrace knihoven do služeb systému. Zvážit musíme i cenu popisu byznysových pravidel v [DSL](#), který se musejí vývojáři systému naučit navíc oproti programovacímu jazyku, ve kterém popisují služby. Dále je při návrhu systému potřeba identifikovat byznysové kontexty, jejich hierarchii a vzájemnou vazbu s byznysovními pravidly, aby bylo možno framework efektivně využívat. To může vyžadovat více času, než klasický návrh.

<sup>5</sup> Navržený framework tedy oproti konvenčnímu přístupu nabízí možnost získat dlouhodobě nižší náklady na vývoj za cenu počáteční investice. Architekt softwarového systému musí případné nasazení frameworku zvážit z několika úhlů pohledu a posoudit, zda bude životnost systému dostatečně dlouhá a systém dostatečně velký. Dalším podstatným bodem ke zvážení je reálná míra znovupoužití byznysových pravidel. Mohou existovat domény, ve kterých bude nasazení frameworku jistě mnohem vhodnější, než v jiných. Díky provedené případové studii jsme zjistili, že v [SOA](#) lze efektivně řešit otázku byznysových pravidel, potažmo průřezových problémů obecně, námi navrženým způsobem.

## 6.4 Shrnutí

V této kapitole jsme popsali, jakým způsobem byly testovány prototypy knihoven pro platformy jazyků Java a Python a pro platformu Node.js. Tím jsme verifikovali jejich správnou funkcionální kapacitu. Dále jsme naspecifikovali a popsali implementaci ukázkového systému, na kterém jsme provedli případovou studii použití našeho frameworku. Díky tomu jsme validovali, že navržený framework je funkční a splňuje požadavky identifikované v sekci [2.4](#). Nakonec jsme na ukázkovém systému diskutovali srovnání použití našeho frameworku a konvenčního přístupu k návrhu a implementaci softwarových systémů.

---

<sup>3</sup>[\[Intended Delivery: Výhody našeho frameworku\]](#)

<sup>4</sup>[\[Intended Delivery: Nevýhody použití\]](#)

<sup>5</sup>[\[Intended Delivery: Závěr\]](#)

# Kapitola 7

## Závěr

### 7.1 Analýza dopadu použití frameworku

### 7.2 Budoucí rozšiřitelnost frameworku

#### 7.2.1 Kvalitní doménově specifický jazyk

Zadáním této práce nebylo zkonstruovat vlastní [DSL](#) k účelům automatické distribuce a centrální správy byznys pravidel, nicméně v sekci [2.4](#) jsme potřebu takového jazyka jasně identifikovali a následně v kapitole [3](#) jsme došli k závěru, že momentálně neexistuje vhodné [DSL](#), které by splňovalo všechny naše požadavky a mohli bychom ho využít pro naše účely. V rámci implementace prototypu knihoven jsme navrhli a implementovali vlastní [DSL](#) v jazyce [XML](#), jak jsme popsali v sekci [5.3](#). Tento jazyk je však velmi omezený a snaží se vyhovět co nejnižším nárokům na implementaci. Sestavení kvalitního jazyka pro naše účely je tématem nejméně pro bakalářskou práci. Nicméně, námi navržený framework je schopen toto rozšíření pojmout, stačí doimplementovat plug-in, který se bude starat o převod z daného [DSL](#) do paměťové reprezentace byznysového kontextu.

Kvalitní jazyk by měl kromě výše zmíněných požadavků pro zachycení pravidla poskytovat co nejpřehlednější zápis, aby ho mohl snadno číst a zapisovat nejen vývojář, ale i doménový expert či administrátor systému. Tím by se ještě zvýšil přínos centrální administrace byznysových pravidel, kterou jsme v rámci této práce implementovali a popsali v sekci [5.7](#). Můžeme také diskutovat, že by jazyk pro popis byznysových kontextů sloužil pouze jako platforma a samotná pravidla by byla popsána v [DSL](#) vytvořeném na míru byznysové doméně, pro kterou by byl implementován systém využívající našeho frameworku.

### 7.3 Možností uplatnění navrženého frameworku

### 7.4 Další možnosti uplatnění AOP v SOA

[TODO

- Extrakce dokumentace
- Extrakce byznysového modelu
- Konfigurace prostředí

]

### 7.5 Shrnutí

[TODO

- Dosáhli jsme cílů práce
- Stručné shrnutí co všechno a jak jsme udělali

]

# Literatura

- [1] 26.4. *unittest* — Unit testing framework – Python 3.6.5 documentation [online]. Dostupné z: <<https://docs.python.org/3/library/unittest.html>>.
- [2] *Apache Thrift* - Home [online]. Dostupné z: <<https://thrift.apache.org/>>.
- [3] *Babel* · The compiler for writing next generation JavaScript [online]. Dostupné z: <<https://babeljs.io/>>.
- [4] BEN-KIKI, O. – EVANS, C. – INGERSON, B. Yaml ain't markup language (yaml™) version 1.1. *yaml.org, Tech. Rep.* 2005, s. 23.
- [5] BERNERS-LEE, T. – CONNOLLY, D. Hypertext markup language-2.0. Technical report, 1995.
- [6] BERSON, A. *Client-server architecture*. New York, New York, USA : McGraw-Hill, 1992.
- [7] BITTNER, K. *Use case modeling*. Boston, Massachusetts, USA : Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2002.
- [8] BOS, B. et al. Cascading style sheets, level 2 CSS2 specification. *Available via the World Wide Web at http://www.w3.org/TR/1998/REC-CSS2-19980512*. 1998, s. 1472–1473.
- [9] BOX, D. et al. Simple object access protocol (SOAP) 1.1, 2000.
- [10] BRAY, T. et al. Extensible markup language (XML). *World Wide Web Journal*. 1997, 2, 4, s. 27–66.
- [11] CEMUS, K. Context-aware input validation in information systems. In *POSTER 2016-20th International Student Conference on Electrical Engineering*, 2016.
- [12] CEMUS, K. – CERNY, T. Aspect-driven design of information systems. In *International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Informatics*, s. 174–186. Springer, 2014.

- [13] CEMUS, K. – CERNY, T. Automated extraction of business documentation in enterprise information systems. *ACM SIGAPP Applied Computing Review*. 2017, 16, 4, s. 5–13.
- [14] CEMUS, K. – CERNY, T. – DONAHOO, M. J. Automated business rules transformation into a persistence layer. *Procedia Computer Science*. 2015, 62, s. 312–318.
- [15] CEMUS, K. et al. Distributed Multi-Platform Context-Aware User Interface for Information Systems. In *IT Convergence and Security (ICITCS), 2016 6th International Conference on*, s. 1–4. IEEE, 2016.
- [16] CERNY, T. – DONAHOO, M. J. – PECHANEC, J. Disambiguation and Comparison of SOA, Microservices and Self-Contained Systems. In *Proceedings of the International Conference on Research in Adaptive and Convergent Systems*, s. 228–235. ACM, 2017.
- [17] Chai [online]. Dostupné z: <<http://www.chaijs.com/>>.
- [18] CHAPPELL, D. *Enterprise service bus*. Newton, Massachusetts, USA : O'Reilly Media, Inc., 2004.
- [19] CHRISTENSEN, E. et al. Web services description language (WSDL) 1.1, 2001.
- [20] DRAGONI, N. et al. Microservices: yesterday, today, and tomorrow. In *Present and Ulterior Software Engineering*. Cham, Switzerland: Springer, 2017. s. 195–216.
- [21] *Drools - Drools - Business Rules Management System (Java™, Open Source)* [online]. Dostupné z: <<https://www.drools.org/>>.
- [22] *ECMAScript® 2015 Language Specification - Ecma-262 6th Edition* [online]. Dostupné z: <<http://www.ecma-international.org/ecma-262/6.0/>>.
- [23] *Express – Node.js web application framework* [online]. Dostupné z: <<https://expressjs.com/>>.
- [24] *Fast, reliable, and secure dependency management*. [online]. Dostupné z: <<https://yarnpkg.com/en/>>.
- [25] FIELDING, R. et al. Hypertext transfer protocol–HTTP/1.1. Technical report, 1999.
- [26] FIELDING, R. T. REST: architectural styles and the design of network-based software architectures. *Doctoral dissertation, University of California*. 2000.
- [27] FORGY, C. L. Rete: A fast algorithm for the many pattern/many object pattern match problem. In *Readings in Artificial Intelligence and Databases*. New York, USA: Elsevier, 1988. s. 547–559.

- [28] FOWLER, M. *Patterns of enterprise application architecture*. Boston, Massachusetts, USA : Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2002.
- [29] FOWLER, M. ServiceOrientedAmbiguity. *Martin Fowler-Bliki*. 2005, 1.
- [30] FOWLER, M. – BECK, K. *Refactoring: improving the design of existing code*. Boston, Massachusetts, USA : Addison-Wesley Professional, 1999.
- [31] FOWLER, M. – FOEMMEL, M. Continuous integration. *Thought-Works* <http://www.thoughtworks.com/ContinuousIntegration.pdf>. 2006, 122, s. 14.
- [32] FOX, G. Peer-to-peer networks. *Computing in Science & Engineering*. 2001, 3, 3, s. 75–77.
- [33] *Git* [online]. Dostupné z: <<https://git-scm.com/>>.
- [34] *GitHub Octoverse 2017* [online]. 2017. Dostupné z: <<https://octoverse.github.com/>>.
- [35] *gRPC open-source universal RPC framework* [online]. Dostupné z: <<https://grpc.io/>>.
- [36] *isaacs/rimraf* [online]. Dostupné z: <<https://github.com/isaacs/rimraf>>.
- [37] *JDOM* [online]. Dostupné z: <<http://www.jdom.org/>>.
- [38] *JUnit - About* [online]. Dostupné z: <<https://junit.org/junit4/>>.
- [39] KAMBONA, K. – BOIX, E. G. – DE MEUTER, W. An evaluation of reactive programming and promises for structuring collaborative web applications. In *Proceedings of the 7th Workshop on Dynamic Languages and Applications*, s. 3. ACM, 2013.
- [40] KENNARD, R. – EDMONDS, E. – LEANEY, J. Separation anxiety: stresses of developing a modern day separable user interface. In *Human System Interactions, 2009. HSI'09. 2nd Conference on*, s. 228–235. IEEE, 2009.
- [41] KICZALES, G. et al. Aspect-oriented programming. In *European conference on object-oriented programming*, s. 220–242. Springer, 1997.
- [42] LEE, D. – CHU, W. W. Comparative analysis of six XML schema languages. *Sigmod Record*. 2000, 29, 3, s. 76–87.
- [43] LEWIS, J. – FOWLER, M. Microservices: a definition of this new architectural term. *MartinFowler. com*. 2014, 25.
- [44] *library/node - Docker Hub* [online]. Dostupné z: <[https://hub.docker.com/\\_/node/](https://hub.docker.com/_/node/)>.

- [45] *Linux – The Linux Foundation* [online]. Dostupné z: <<https://www.linuxfoundation.org/projects/linux/>>.
- [46] LITTMAN, D. C. et al. Mental models and software maintenance. *Journal of Systems and Software*. 1987, 7, 4, s. 341–355.
- [47] LUO, L. Software testing techniques. *Institute for software research international Carnegie mellon university Pittsburgh, PA*. 2001, 15232, 1-19, s. 19.
- [48] MAEDA, K. Performance evaluation of object serialization libraries in XML, JSON and binary formats. In *Digital Information and Communication Technology and it's Applications (DICTAP), 2012 Second International Conference on*, s. 177–182. IEEE, 2012.
- [49] *Maven – Welcome to Apache Maven* [online]. Dostupné z: <<https://maven.apache.org/>>.
- [50] MERKEL, D. Docker: lightweight linux containers for consistent development and deployment. *Linux Journal*. 2014, 2014, 239, s. 2.
- [51] *Mocha – the fun, simple, flexible JavaScript test framework* [online]. Dostupné z: <<https://mochajs.org/>>.
- [52] *MPS: Domain-Specific Language Creator by JetBrains* [online]. Dostupné z: <<https://www.jetbrains.com/mps/>>.
- [53] NELSON, B. J. *Remote Procedure Call*. PhD thesis, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA, 1981. AAI8204168.
- [54] *Orchestration vs. Choreography* [online]. Dostupné z: <<https://stackoverflow.com/questions/4127241/orchestration-vs-choreography>>.
- [55] PARDON, G. – PAUTASSO, C. Towards distributed atomic transactions over RESTful services. In *REST: From Research to Practice*. Cham, Switzerland: Springer, 2011. s. 507–524.
- [56] *pip - pip 9.0.3 documentation* [online]. Dostupné z: <<https://pip.pypa.io/en/stable/>>.
- [57] POSTEL, J. Transmission control protocol. 1981.
- [58] *Programming Languages and GitHub* [online]. 2014. Dostupné z: <<http://github.info/>>.



- [59] *Protocol Buffers / Google Developers* [online]. Dostupné z: <<https://developers.google.com/protocol-buffers/>>.
- [60] RENTSCH, T. Object oriented programming. *ACM Sigplan Notices*. 1982, 17, 9, s. 51–57.
- [61] RICHARDS, M. Microservices vs. service-oriented architecture. 2015.
- [62] SIEGEL, J. – FRANTZ, D. *CORBA 3 fundamentals and programming*. 2. New York, NY, USA : John Wiley & Sons, 2000.
- [63] SOLEY, R. et al. Model driven architecture. *OMG white paper*. 2000, 308, 308, s. 5.
- [64] SOLIS, C. – WANG, X. A study of the characteristics of behaviour driven development. In *Software Engineering and Advanced Applications (SEAA), 2011 37th EUROMICRO Conference on*, s. 383–387. IEEE, 2011.
- [65] SOLOWAY, E. – EHRLICH, K. Empirical studies of programming knowledge. In *Readings in artificial intelligence and software engineering*. New York, USA: Elsevier, 1986. s. 507–521.
- [66] *Spring Boot* [online]. Dostupné z: <<https://projects.spring.io/spring-boot/>>.
- [67] *Stack Overflow Developer Survey 2017* [online]. 2017. Dostupné z: <<https://insights.stackoverflow.com/survey/2017#technology>>.
- [68] TARJAN, R. Depth-first search and linear graph algorithms. In *12th Annual Symposium on Switching and Automata Theory (swat 1971)*, s. 114–121, Oct 1971. doi: 10.1109/SWAT.1971.10.
- [69] *The Role of Service Orchestration Within SOA* [online]. Dostupné z: <<https://www.nomagic.com/news/insights/the-role-of-service-orchestration-within-soa>>.
- [70] VAN ROY, P. et al. Programming paradigms for dummies: What every programmer should know. *New computational paradigms for computer music*. 2009, 104.
- [71] VARDA, K. Protocol buffers: Google’s data interchange format. *Google Open Source Blog, Available at least as early as Jul.* 2008, 72.
- [72] WARD, M. P. Language-oriented programming. *Software-Concepts and Tools*. 1994, 15, 4, s. 147–161.
- [73] *Welcome / Flask (A Python Microframework)* [online]. Dostupné z: <<http://flask.pocoo.org/>>.

- [74] *Welcome to Apache Avro!* [online]. Dostupné z: <<https://avro.apache.org/>>.
- [75] *What is the MIT license? – definition by The Linux Information Project (LINFO)* [online]. Dostupné z: <<http://www.linfo.org/mitlicense.html>>.
- [76] WOOD, L. et al. Document Object Model (DOM) level 3 core specification, 2004.

## Příloha A

### Přehledové obrázky a snímky

## Business Context Administration

### Business context: shipping.correctAddress

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <businessContext prefix="shipping" name="correctAddress">
3   <includedContexts />
4   <preconditions>
5     <precondition name="Shipping address must contain a country, city, street and postal code">
6       <condition>
7         <logicalAnd>
8           <left>
9             <logicalAnd>
10              <left>
11                <isNotNull>
12                  <argument>
13                    <objectPropertyReference propertyName="country" objectName="shippingAddress" type="s
14                  </argument>
15                  </isNotNull>
16                </left>
17              <right>
18                <isNotNull>
19                  <argument>
20                    <objectPropertyReference propertyName="city" objectName="shippingAddress" type="stri
21                  </argument>
22                  </isNotNull>
23                </right>
24              </logicalAnd>
25            </left>
26            <right>
27              <logicalAnd>
28                <left>
29                  <isNotNull>
30                    <argument>
31                      <objectPropertyReference propertyName="street" objectName="shippingAddress" type="st
32                    </argument>
33                    </isNotNull>
34                  </left>
35                <right>
36                  <isNotNull>
37                    <argument>
38                      <objectPropertyReference propertyName="postalCode" objectName="shippingAddress" type="pos

```

Save changes

Obrázek A.1: Formulář pro vytvoření nebo úpravu byznysového kontextu v centrální administraci

## Business Context Administration

### Business context: auth.userLoggedIn

Included contexts No included contexts

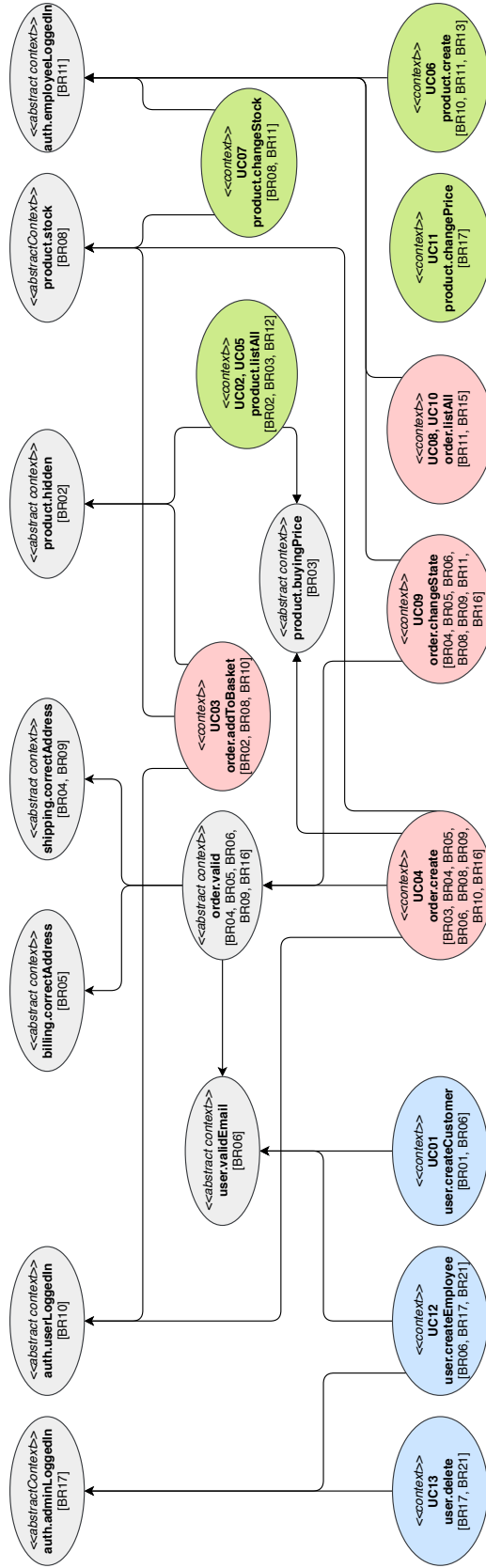
Preconditions

- User must be signed in:  
\$user is not null

Postconditions No post-conditions

Edit

Obrázek A.2: Detail byznysového kontextu v centrální administraci



Obrázek A.3: Diagram hierarchie byznysových kontextů ukázkového systému



Obrázek A.4: Propagace byznysového pravidla při přidávání produktu do košíku v ukázkovém systému

## Příloha B

# Seznam použitých zkratk

<b>ADDA</b>	Aspect-Driven Design Approach. <a href="#">15</a> , <a href="#">25</a> , <a href="#">26</a> , <a href="#">32</a>
<b>AOP</b>	Aspect Oriented Programming. <a href="#">xiii</a> , <a href="#">23–25</a> , <a href="#">66</a>
<b>API</b>	Application Programming Interface. <a href="#">9</a> , <a href="#">19</a> , <a href="#">59</a> , <a href="#">60</a> , <a href="#">62</a>
<b>AST</b>	Abstract Syntax Tree. <a href="#">41</a>
<b>BDD</b>	Behaviour Driven Development. <a href="#">53</a>
<b>BRMS</b>	Business Rules Management System. <a href="#">26</a>
<b>CI</b>	Continuous Integration. <a href="#">51</a>
<b>CORBA</b>	Common Object Request Broker Architecture. <a href="#">6</a> , <a href="#">20</a>
<b>CRUD</b>	Create, Read, Update, Delete. <a href="#">18</a>
<b>CSS</b>	Cascading Style Sheets. <a href="#">49</a>
<b>DOM</b>	Document Object Model. <a href="#">44</a>
<b>DSL</b>	Domain-Specific Language. <a href="#">15</a> , <a href="#">25–28</a> , <a href="#">32</a> , <a href="#">40</a> , <a href="#">44</a> , <a href="#">49</a> , <a href="#">64</a> , <a href="#">65</a>
<b>EL</b>	Expression Language. <a href="#">4</a>
<b>ESB</b>	Enterprise Service Bus. <a href="#">7–9</a> , <a href="#">11</a>
<b>HATEOAS</b>	Hypermedia as the engine of application state. <a href="#">19</a>
<b>HTTP</b>	Hypertext Transfer Protocol. <a href="#">6</a> , <a href="#">18–20</a>
<b>IS</b>	Informační systém. <a href="#">3</a> , <a href="#">25</a>
<b>JPQL</b>	Java Persistence Query Language. <a href="#">25</a>

<b>JSON</b>	JavaScript Object Notation. <a href="#">6</a> , <a href="#">19</a> , <a href="#">38</a> , <a href="#">59</a>
<b>LHS</b>	Left-hand side. <a href="#">27</a>
<b>LOP</b>	Language-Oriented Programming. <a href="#">28</a>
<b>MDA</b>	Model-Driven Architecture. <a href="#">15</a> , <a href="#">16</a> , <a href="#">28</a>
<b>MQ</b>	Message Queue. <a href="#">7</a>
<b>OMG</b>	Object Modeling Group. <a href="#">15</a>
<b>OOP</b>	Object Oriented Programming. <a href="#">16</a> , <a href="#">22–24</a>
<b>ORB</b>	Object Request Broker. <a href="#">6</a>
<b>P2P</b>	Peer-to-peer. <a href="#">17</a> , <a href="#">18</a> , <a href="#">33</a>
<b>PIM</b>	Platform Independent Model. <a href="#">15</a> , <a href="#">16</a>
<b>PSM</b>	Platform Specific Model. <a href="#">15</a>
<b>REST</b>	Representational State Transfer. <a href="#">xv</a> , <a href="#">6</a> , <a href="#">18–21</a> , <a href="#">59</a> , <a href="#">60</a> , <a href="#">62</a>
<b>RHS</b>	Right-hand side. <a href="#">27</a>
<b>RMI</b>	Remote Method Invocation. <a href="#">20</a>
<b>RPC</b>	Remote Procedure Call. <a href="#">xv</a> , <a href="#">20</a> , <a href="#">21</a> , <a href="#">39</a>
<b>SOA</b>	Service Oriented Architecture. <a href="#">xiii</a> , <a href="#">5–8</a> , <a href="#">10</a> , <a href="#">11</a> , <a href="#">15</a> , <a href="#">20</a> , <a href="#">29</a> , <a href="#">55</a> , <a href="#">64</a> , <a href="#">66</a>
<b>SOAP</b>	Simple Object Access Protocol. <a href="#">6</a>
<b>SQL</b>	Structured English Query Language. <a href="#">25</a>
<b>TCP</b>	Transmission Control Protocol. <a href="#">16</a>
<b>UC</b>	Use Case. <a href="#">55</a> , <a href="#">56</a> , <a href="#">60</a>
<b>UI</b>	User Interface. <a href="#">10</a> , <a href="#">25</a> , <a href="#">26</a> , <a href="#">61</a>
<b>UML</b>	Unified Modeling Language. <a href="#">15</a>
<b>URI</b>	Uniform Resource Identifier. <a href="#">19</a>
<b>URL</b>	Uniform Resource Locator. <a href="#">16</a> , <a href="#">61</a>
<b>WSDL</b>	Web Service Description Language. <a href="#">6</a>
<b>XML</b>	Extensible Markup Language. <a href="#">xvii</a> , <a href="#">6</a> , <a href="#">19</a> , <a href="#">38</a> , <a href="#">40</a> , <a href="#">41</a> , <a href="#">44</a> , <a href="#">65</a>
<b>XSD</b>	XML Schema Definition. <a href="#">41</a>



**YAML**      YAML Ain't Markup Language. [62](#)



## Příloha C

# Obsah přiloženého CD

-- nutforms-example/	Ukázkov\`y systém využ\`{\i}vaj\`{\i}c\`{\i} knihovnu
-- dist/	Zkompilované zdrojové soubory pro distribuci
-- docs/	Dokumentace
-- src/	Zdrojov\`y kód aplikace
-- nutforms-ios-client/	Klientská část knihovny pro platformu iOS
-- client/	Zdrojové soubory knihovny
-- clientTests/	Zdrojové soubory testů knihovny
-- dist/	Zkompilované zdrojové soubory pro distribuci
-- docs/	Dokumentace
-- nutforms-server/	Serverová část knihovny
-- dist/	Zkompilované zdrojové soubory pro distribuci
-- docs/	Dokumentace
-- layout/	Layout servlet
-- localization/	Localization servlet
-- meta/	Metadata servlet
-- widget/	Widget servlet
-- nutforms-web-client/	Klientská část knihovny pro webové aplikace
-- dist/	Zkompilované zdrojové soubory pro distribuci
-- docs/	Dokumentace
-- src/	Zdrojové soubory knihovny
-- test/	Zdrojové soubory testů knihovny
-- text/	Text bakalářské práce