

# Modelování výrobního procesu s použitím BPMN a Petriho sítí

Diplomová práce

Vedoucí práce:

RNDr. Zuzana Prišćáková

Bc. Tomáš Orálek

Brno 2015



Na tomto místě bych rád poděkoval paní RNDr. Zuzaně Prišćákové a panu Ing. Pavlu Krejčímu za kvalitní odborné vedení, velkou trpělivost, podnětné připomínky a cenné rady při tvorbě diplomové práce.



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **Modelování výrobního procesu s použitím BPMN a Petriho sítí** vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity o tom, že předmetná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne 15. května 2015

---



## **Abstract**

Orálek, T. Modeling of the manufacturing process using BPMN and Petri Nets. Diploma thesis. Brno: Mendel University in Brno, 2015.

This thesis deals with modeling, analysis and optimization of business process Alarm of assembly products – the issue that a medium-sized company from the manufacturing area dealt with. First of all, the current state of the selected process is modeled. Then, the process model is thoroughly analyzed. Due to the analysis, we are able to discover all of the deficiencies in the process. Then, the description and the design of innovations (resulting from the previous stage) are created. Business Process Model and Notation and Petri Nets are used as a tool for modeling and solving the blocking points via the modeling software AccuProcess Modeler, Enterprise Architect and Petri .NET Simulator. The thesis also includes the implementation of a web application for managing all of the processes within the company. The application is developed using PHP and MySQL technologies.

## **Keywords**

BPMN, Petri Nets, Business process management, process analysis, process modeling, PHP, web application.

## **Abstrakt**

Orálek, T. Modelování výrobního procesu s použitím BPMN a Petriho sítí. Diplomová práce. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015.

Diplomová práce se zabývá modelováním, analýzou a optimalizací podnikového procesu Alarm montážních přípravků z oblasti výroby ve středně velké společnosti. Nejprve je namodelován aktuální stav vybraného procesu. Poté je tento procesní model důkladně zanalyzován, díky čemuž jsou objeveny veškeré nedostatky, které se v něm nachází. Následuje návrh a popis inovací plynoucích z předchozí fáze. Jako prostředek pro modelování a řešení blokáží zde slouží Business Process Model and Notation a Petriho síť za využití nástrojů AccuProcess Modeler, Enterprise Architect a Petri .NET Simulator. Součástí práce je také realizace webové aplikace pro správu všech procesů ve společnosti. K vývoji této aplikace jsou využity technologie PHP a MySQL.

## **Klíčová slova**

BPMN, Petriho síť, procesní řízení, procesní analýza, procesní modelování, PHP, webová aplikace.





# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod a cíl práce</b>	<b>15</b>
1.1	Úvod.....	15
1.2	Cíl práce.....	15
<b>2</b>	<b>Metodika</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>Struktura práce</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>Literární přehled</b>	<b>18</b>
4.1	Procesní řízení.....	18
4.2	Eriksson-Penkerova notace.....	23
4.3	BPMN .....	24
4.4	Petriho síť.....	29
4.5	PHP.....	36
4.6	MySQL.....	37
4.7	Použité technologie a nástroje pro řešení .....	37
<b>5</b>	<b>Vlastní řešení</b>	<b>40</b>
5.1	Charakteristika společnosti.....	40
5.2	Proces Alarm montážních přípravků.....	41
5.3	Transformace BPMN do Petriho sítí .....	44
5.4	Procesní analýza současného stavu .....	44
5.5	Návrh inovací.....	45
5.6	Analýza a návrh webové aplikace.....	47
5.7	Implementace webové aplikace .....	51
5.8	Přínosy aplikace.....	54
5.9	Implementace řešení v podniku .....	56
<b>6</b>	<b>Diskuse</b>	<b>57</b>
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>59</b>
<b>8</b>	<b>Literatura</b>	<b>61</b>

---

<b>A</b>	<b>Alarm montážních přípravků</b>	<b>65</b>
<b>B</b>	<b>Inovace A</b>	<b>68</b>
<b>C</b>	<b>Inovace B</b>	<b>70</b>
<b>D</b>	<b>Inovace C</b>	<b>72</b>
<b>E</b>	<b>Ukázka vytváření nového uživatele</b>	<b>73</b>
<b>F</b>	<b>Ukázka vytváření nové verze procesu</b>	<b>74</b>

## Seznam obrázků

<b>Obr. 1</b>	<b>Základní model podnikového procesu</b>	<b>19</b>
<b>Obr. 2</b>	<b>Eriksson-Penker procesní diagram</b>	<b>24</b>
<b>Obr. 3</b>	<b>Základní typy událostí v BPMN</b>	<b>25</b>
<b>Obr. 4</b>	<b>Aktivity v BPMN</b>	<b>26</b>
<b>Obr. 5</b>	<b>Základní typy bran v BPMN</b>	<b>26</b>
<b>Obr. 6</b>	<b>Spojovací elementy v BPMN</b>	<b>27</b>
<b>Obr. 7</b>	<b>Artefakty v BPMN</b>	<b>27</b>
<b>Obr. 8</b>	<b>BPMN Bazén</b>	<b>28</b>
<b>Obr. 9</b>	<b>BPMN Dráha</b>	<b>28</b>
<b>Obr. 10</b>	<b>Základní elementy v Petriho sítích</b>	<b>30</b>
<b>Obr. 11</b>	<b>Organizační struktura společnosti</b>	<b>40</b>
<b>Obr. 12</b>	<b>Návrh uživatelského rozhraní pro prezentaci procesů</b>	<b>48</b>
<b>Obr. 13</b>	<b>Diagram případů užití</b>	<b>49</b>
<b>Obr. 14</b>	<b>Diagram aktivit případu užití Zobrazit přehled procesů</b>	<b>50</b>
<b>Obr. 15</b>	<b>Entitně relační diagram</b>	<b>51</b>
<b>Obr. 16</b>	<b>Výpis registrovaných uživatelů</b>	<b>53</b>
<b>Obr. 17</b>	<b>Prezentace procesu Alarm montážních přípravků v aplikaci ProcessManager</b>	<b>54</b>
<b>Obr. 18</b>	<b>Makro layout (původní stav)</b>	<b>57</b>
<b>Obr. 19</b>	<b>Makro layout (inovace A)</b>	<b>58</b>
<b>Obr. 20</b>	<b>Proces Alarm montážních přípravků – BPMN (AccuProcess Modeler)</b>	<b>65</b>

---

<b>Obr. 21</b>	<b>Proces Alarm montážních přípravků – BPMN (Enterprise Architect)</b>	<b>66</b>
<b>Obr. 22</b>	<b>Proces Alarm montážních přípravků – časovaná Petriho síť</b>	<b>67</b>
<b>Obr. 23</b>	<b>Proces Alarm montážních přípravků – inovace A – BPMN (Enterprise Architect)</b>	<b>68</b>
<b>Obr. 24</b>	<b>Proces Alarm montážních přípravků – inovace A – časovaná Petriho síť</b>	<b>69</b>
<b>Obr. 25</b>	<b>Proces Alarm montážních přípravků – inovace B – BPMN (Enterprise Architect)</b>	<b>70</b>
<b>Obr. 26</b>	<b>Proces Alarm montážních přípravků – inovace B – časovaná Petriho síť</b>	<b>71</b>
<b>Obr. 27</b>	<b>Proces Alarm montážních přípravků – inovace C – BPMN (Enterprise Architect)</b>	<b>72</b>
<b>Obr. 28</b>	<b>Formulář pro vytvoření nového uživatele</b>	<b>73</b>
<b>Obr. 29</b>	<b>Formulář pro vytvoření nové verze procesu</b>	<b>74</b>

## Seznam tabulek

<b>Tab. 1</b>	<b>Porovnání notací BPMN a Eriksson-Penker</b>	<b>29</b>
<b>Tab. 2</b>	<b>Porovnání vlastností základních druhů Petriho sítí</b>	<b>34</b>
<b>Tab. 3</b>	<b>Porovnání klíčových vlastností nástrojů AccuProcess Modeler a Enterprise Architect pro modelování v BPMN</b>	<b>38</b>
<b>Tab. 4</b>	<b>Přihlašovací údaje do aplikace ProcessManager</b>	<b>52</b>

## Seznam použitých zkratk

ACL	Access Control List, Seznam přístupových práv
AJAX	Asynchronous JavaScript and XML, Asynchronní JavaScript a XML
BPD	Business Process Diagram, Diagram podnikového procesu
BPEL	Business Process Execution Language
BPI	Business Process Improvement, Procesní optimalizace
BPM	Business Process Management, Procesní řízení
BPMI	Business Process Management Initiative
BPML	Business Process Modeling Language
BPMN	Business Process Model and Notation
C/E PN	Condition/Event Petri Nets
CPN	Coloured Petri Nets, Barevné Petriho sítě
DI	Dependency Injection
EPC	Event-driven Process Chain
ERD	Entity-relationship diagram, Entitně relační diagram
GSPN	Generalized Stochastic Petri Nets, Zobecněné stochastické Petriho sítě
HPN	Hierarchical Petri Nets, Hierarchické Petriho sítě
IDEF	Integration Definition
KPI	Key Performance Indicators, Klíčové ukazatele výkonnosti
MVP	Model-View-Presenter
OMG	Object Management Group
OOPN	Object Oriented Petri Nets, Objektové Petriho sítě
PHP	PHP: Hypertext Preprocessor
PN	Petri Nets, Petriho sítě
P/T PN	Place/Transition Petri Nets
RDBMS	Relational Database Management System, Systém řízení relačních databází
SMP	Seřizovač montážních přípravků
SoaML	Service Oriented Architecture Modeling Language
SPN	Stochastic Petri Nets, Stochastické Petriho sítě
SQL	Structured Query Language
SysML	Systems Modeling Language
TPN	Timed Petri Nets, Časované Petriho sítě
UML	Unified Modeling Language

# 1 Úvod a cíl práce

## 1.1 Úvod

V dnešní době dynamicky se rozvíjejícího podnikatelského prostředí je pro společnosti více než kdy jindy velice důležité udržení trvalé konkurenceschopnosti. Jednou z možností jak toho dosáhnout, se jeví realizace procesního řízení. Tento soubor činností, jež slouží k plánování i monitorování výkonnosti procesů, umožňuje mimo jiné podnikové procesy analyzovat a optimalizovat. Efektivně vykonávané podnikové procesy značně podporují konkurenceschopnost podniku na trhu.

Procesy v podniku mohou být velmi složité a komplexní, proto za účelem jejich modelování a inovace vzniklo mnoho nástrojů, metodik a standardů. Většina z těch nejpoužívanějších je definována konsorciem Object Management Group. Mezi tyto celosvětově uznávané standardy spadá také Business Process Model and Notation. Daná notace přehledně zachycuje detail i dynamiku modelovaných procesů. Abychom však proces dokázali co nejlépe optimalizovat, je důležité jej především důkladně zanalyzovat. K tomu lze úspěšně využít simulační funkci Petriho sítí, která přehledně zobrazí přítomné blokace.

Pro docílení korektního a efektivního chodu společnosti je klíčové nejen přesně zdokumentovat jednotlivé podnikové procesy, ale rovněž s nimi musí být pečlivě obeznámeni určení pracovníci. Jedině tak je mohou správně vykonávat.

Tato práce se zabývá aplikací technik procesního modelování, analýzy a optimalizace na reálný podnikový proces Alarm montážních přípravků. Proces jako takový pochází z oblasti výroby ve středně velké společnosti, zaměřující se na automobilový průmysl. Hlavním důvodem výběru tématu bylo demonstrovat sílu kombinace nástrojů Business Process Model and Notation a Petriho sítí na modelování, analýzu a optimalizaci podnikových procesů.

## 1.2 Cíl práce

Cílem diplomové práce je namodelovat, zanalyzovat a optimalizovat vybraný podnikový proces Alarm montážních přípravků z oblasti výroby ve středně velké společnosti. Nejdříve proces namodeluji prostřednictvím Business Process Model and Notation tak, jak se aktuálně v podniku vyskytuje. Následně jej podrobím důkladné analýze skrze simulační funkci Petriho sítí, která by měla odhalit jeho případné nedostatky. Na základě těchto nedostatků proces optimalizuji. K modelování procesu využiji nástroje AccuProcess Modeler a Enterprise Architect. Petriho síť poté vytvořím v programu Petri .NET Simulator.

Výstupem práce bude vyjma modelu původního stavu procesu a jeho inovací dále i webová aplikace pro správu všech procesů v podniku. Aplikaci naimplementuji ve skriptovacím programovacím jazyce PHP. Pro účely uložení dat poslouží databázový systém MySQL. Vzhled aplikace vytvořím pomocí jazyka HTML a CSS. Práce bude obsahovat také vyhodnocení dopadů navržených inovací a diskuzi na téma zavádění Business Process Model and Notation při modelování procesů vyskytujících se ve výrobních linkách.

## 2 Metodika

Tématem práce je modelování, analýza a zefektivnění vytyčeného podnikového procesu z oblasti výroby a následné vytvoření webové aplikace, která bude sloužit pro správu všech podnikových procesů v dané společnosti. Pro větší přehlednost je tato diplomová práce rozčleněna na dvě hlavní části – teoretickou a praktickou.

V rámci teoretické části je nejprve nutné seznámit se s pojmy jako proces, procesní řízení, procesní modelování, Business Process Model and Notation (BPMN), Eriksson-Penkerova notace, Petriho sítě a dalšími. Důraz bude kladen zejména na notaci BPMN a Petriho sítě, jakožto prostředek pro vizualizaci procesů a řešení blokáží. Základním zdrojem znalostí pro tuto část práce je citovaná odborná literatura. Teoretické vědomosti získané z odborné literatury budou zde ovšem navíc rozšířeny o znalosti, získané v předmětu Informační systémy (projektování).

Praktická část zahrnuje již reálné procesní modelování s využitím BPMN a také následnou transformaci vytvořeného procesního diagramu do Petriho sítí. Pro účely modelování jsem zvolil notaci BPMN vzhledem k faktu, že se jedná o celosvětově uznávaný standard pro modelování podnikových procesů. Petriho sítě poté poslouží k odhalení případných blokáží, jež se v procesu mohou vyskytovat.

Nejprve však namodeluji původní podnikový proces, tak jak se ve společnosti vyskytuje. K tvorbě procesního diagramu v BPMN poslouží jako hlavní modelovací nástroj AccuProcess Modeler. V tomto nástroji vykonám i simulaci procesních nákladů. Následně provedu transformaci vzniklého diagramu do Petriho sítě, k čemuž využiji nástroj Petri .NET Simulator. Vytvořenou Petriho síť v tuto chvíli podrobím důkladné analýze. Na základě výsledků této analýzy a výstupů z uskutečněné simulace procesních nákladů, bude vytvořen návrh i popis inovací zvoleného procesu.

Pro namodelování navržených inovací využiji nástroj Enterprise Architect, který současně poslouží také k porovnání výhod a nevýhod modelování procesů v programu AccuProcess Modeler. Potřebné podklady pro tuto činnost a s tím spojené konzultace poskytne daná společnost.

Hlavním výstupem zmíněných činností by měl být zdokonalený proces namodelovaný pomocí notace BPMN. Ke zdokonalení procesu poslouží především metoda určení klíčových ukazatelů výkonnosti (Key Performance Indicators, KPI) a průchodnost procesu při simulaci Petriho sítě. Podstatnou součástí práce je také webová aplikace realizovaná v programovacím jazyce PHP pro správu procesů.

Navržené inovace procesu Alarm montážních přípravků následně předložím vedení společnosti. V případě jejich schválení bude možné přistoupit k implementaci těchto inovací přímo v podniku. Posouzení vhodnosti zavádění BPMN do výrobních linek a dopady konkrétních inovací budou rozebrány v částech Diskuse a Závěr.



### 3 Struktura práce

Diplomová práce se z hlediska obsahové struktury dělí na dvě hlavní části, jak již bylo nastíněno v předchozí kapitole.

První část práce tvoří literární přehled zaměřený na problematiku procesního řízení, formy a notace procesního modelování a technologie používané k vývoji webových aplikací. Primární zdroj informací pro tuto část představuje uvedená odborná literatura.

Úvodní podkapitola definuje základní pojmy z oblasti procesního řízení jako proces, klíčové ukazatele výkonnosti, procesní modelování, procesní analýza nebo procesní optimalizace. V druhé podkapitole charakterizují notaci Eriksson-Penker, která se reálně využívá při procesním modelování. Tato notace následně poukáže na výhody a nevýhody vůči použití BPMN v rámci modelování podnikových procesů.

Třetí podkapitola se věnuje důkladnému popisu modelovacího standardu BPMN a jeho elementů. Business Process Model and Notation představuje jeden ze dvou hlavních modelovacích nástrojů využívaných v práci. Druhý nástroj reprezentovaný Petriho sítěmi je popsán v následující čtvrté podkapitole. Zde uvádím přehled jednotlivých druhů Petriho sítí spolu s porovnáním jejich vlastností.

Obsahem páté a šesté podkapitoly je pohled na technologie PHP a MySQL, které jsem aplikoval při vývoji webové aplikace v praktické části. Závěrečná podkapitola se zabývá představením softwarových nástrojů a PHP frameworku pro tvorbu webových aplikací použitého v této práci. Z těchto nástrojů lze jmenovitě uvést: AccuProcess Modeler, Enterprise Architect, Petri .NET Simulator a Nette Framework.

Druhá hlavní část diplomové práce, reprezentovaná kapitolou Vlastní řešení nastiňuje použité postupy a dosažené výsledky. Tato kapitola se dále dělí na devět podkapitol. První podkapitola obsahuje charakteristiku společnosti, z níž modelovaný proces Alarm montážních přípravků pochází.

V druhé a třetí podkapitole popisují modelování původního stavu procesu, stanovení klíčových ukazatelů výkonnosti a transformaci vytvořeného procesního modelu v notaci BPMN do časované Petriho sítě. Procesní analýzu i výsledky následné optimalizace jsem rozebral v podkapitolách čtyři a pět.

Podkapitoly šest a sedm se zabírají vývojem webové aplikace pro správu všech procesů v podniku. Osmá podkapitola poté obsahuje hodnocení přínosů i nákladů vztažených k této aplikaci. Poslední podkapitolu praktické části jsem věnoval popisu implementace navrženého řešení v podniku.

V závěrečné diskusi rozvádím téma zavádění BPMN do výrobních linek a problematiku dopadů vedením podniku schválené inovace plynoucích z jejího nasazení. Komplexní shrnutí důležitých informací a výsledků dosažených v této práci je umístěno v kapitole Závěr.

Velmi důležitou součástí práce představují také přílohy, ve kterých se nachází veškeré vytvořené procesní modely, reprezentované procesními diagramy a časovanými Petriho sítěmi.

## 4 Literární přehled

Cílem kapitoly je vymezit základní pojmy, které souvisí s procesním řízením, modelováním procesů v podniku, řešením blokad nalézajících se v procesech a tvorbou webových aplikací.

### 4.1 Procesní řízení

Procesní řízení (Business Process Management, BPM) je nepřetržité sledování podnikových procesů a je-li to vhodné, také jejich přírůstkového zlepšování, či radikálního reengineeringu, za účelem neustálého zajišťování strategických cílů (Řepa, 2007). BPM umožňuje nenáročnou koordinaci managementu a informačních technologií v podniku. Zahrnuje techniky, metody, postupy i nástroje, jak úspěšně vytvořit, analyzovat a kontrolovat podnikové procesy za předpokladu účasti lidí, organizačních složek, dokumentů a dalších informačních zdrojů. Procesní řízení poskytuje značnou možnost optimalizace, což je dáno množstvím informací, které popisy procesů poskytují (Rábová, 2014).

BPM se člení na process design, process modeling, process execution, process monitoring a process optimization.

- **Process design (návrh procesu)** – sběr a analýza dosavadních procesů v podniku, návrh nových procesů.
- **Process modeling (modelování procesu)** – modelování průběhu procesů s různými vstupními a výstupními parametry.
- **Process execution (implementace procesu)** – implementace procesu do ostrého provozu, prezentace procesu.
- **Process monitoring (monitorování procesu)** – důkladné sledování jednotlivých procesů, sběr měřitelných údajů a vytváření statistických reportů.
- **Process optimization (optimalizace procesu)** – příjem a analýza reportů z předchozích fází, vytváření návrhů na optimalizaci u jednotlivých procesů (Rábová, 2014).

Základním prvkem procesního řízení je *proces*. V následujících částech jsou uvedeny charakteristiky procesu, které vyplývají z jeho identifikace a chování v podniku.

#### Proces

Definice procesu podle Harringtona (1997) říká, že proces je po částech uspořádaná množina aktivit, které přinášejí přidanou hodnotu. Proces musí mít kromě svého vlastníka také vstupy a výstupy (Harrington, 1997). Příkladem procesu může být nákup určitého produktu v obchodě. Proces začíná příchodem zákazníka do obchodu s určitým cílem nakoupit a končí až ve chvíli, kdy zákazník opouští obchod s požadovaným produktem. Jednotlivými kroky procesu jsou nejen činnosti,

kteří musí vykonat personál obchodu, ale i samotný zákazník. Zde uvedený proces je příkladem takzvaného podnikového procesu.

Podnikový proces je soubor činností, jež transformují souhrn vstupů do souhrnu výstupů pro jiné procesy, či uživatele s využitím lidského faktoru i nástrojů (Řepa, 2007). Uvedený proces nám tedy říká co, jak, kdy a kdo má udělat uvnitř podniku. Podnikový proces lze jednoduše zachytit v modelu (Obr. 1). Tento model prezentuje vstupy a jejich zdroje, samotný proces, výstupy, uživatele a zpětnou vazbu.



Obr. 1 Základní model podnikového procesu

Zdroj: Řepa, 2007

## Typy procesů

Existuje mnoho hledisek, na základě kterých můžeme klasifikovat podnikové procesy. Podle důležitosti a účelu uvnitř podniku lze procesy třídit na (Rábová, 2014):

- **Hlavní/klíčové procesy** – výstup je určený přímo pro zákazníka. Mezi charakteristické znaky klíčových procesů patří: komplikovanost, ziskovost, viditelnost zvenčí a jednoduchá identifikovatelnost managementem společnosti.
- **Řídící procesy** – reprezentují aktivity podniku nutné pro jeho chod. Samotné řídicí procesy nepřinášejí společnosti zisk (manažerské procesy zabezpečující fungování podniku).
- **Podpůrné procesy** – jejich hlavní funkce je podporovat klíčové procesy, které by bez nich nefungovaly. Ve společnosti neprodukují přímý zisk (např. marketing).
- **Vedlejší procesy** – ostatní činnosti ve společnosti. Například se může jednat o personalistiku.

## Cíle procesu

Cíl je velice důležitou vlastností charakterizující proces. Je nezbytně nutné, aby bylo jasně vymezené, k čemu má proces směřovat. Z uvedeného tedy vyplývá, že musíme znát nejen samotný cíl, ale také by měl tento cíl splňovat poslání organizace jako celku a přispívat k naplnění takzvaného vyššího řádu.

K jeho správnému stanovení je velice důležité přesně určit ukazatele (expertně vyhodnotitelné metriky), s jejichž pomocí jsme schopni monitorovat, jak se procesu daří naplňovat předem definovaný cíl (Grasseová, 2008). Podle jasně definovaného cíle tedy dokážeme zjistit, jak konkrétní proces plní svůj určený cíl.

Strategické cíle musí být vytyčené v klíčových oblastech výkonnosti (Šmída, 2007). Ve výrobě můžeme uvažovat například o oblastech tvořících KPI jako kvalita výstupu, doba trvání jednotlivých procesů a podprocesů, zpoždění mezi podprocesy či počet zákazníků.

### **Klíčové ukazatele výkonnosti**

Klíčové ukazatele výkonnosti jsou podle Kocmanové (2013) metriky, které považujeme za rozhodující ukazatele pro měření úspěchu podnikání konkrétní společnosti. Měření a vyhodnocování klíčových ukazatelů výkonnosti nám umožňuje sledovat úspěšnost a nedostatky. Při jejich měření ovšem musíme klást důraz na to, abychom měřili správné ukazatele a využívali k tomu správnou metodiku měření (Kocmanová, 2013).

Mezi hlavní charakteristiky efektivních KPI patří (Parmenter, 2007):

- nefinanční metrika,
- měření v krátkých časových intervalech (denně, týdně),
- podstatný vliv na výkonnost,
- odpovědnost je vázána na konkrétního jednotlivce nebo tým,
- srozumitelné pro všechny zaměstnance,
- pozitivní vliv na ostatní ukazatele výkonnosti.

### **Procesní modelování**

Procesní modelování využíváme k pochopení zákonitostí týkajících se chodu organizace. Jde o velice efektivní techniku, jejímž výstupem je již výše zmíněný procesní model. Tento model je formalizovaný popis toho, co se v organizaci skutečně odehrává. V první fázi nám poskytuje ucelený pohled na strukturu a činnost firmy. V druhé fázi se procesní model stává východiskem při účelném rozvoji činnosti podniku, kde pomáhá vylepšit existující a odstranit všechny nadbytečné a neproduktivní aktivity (Lukasík, 2007). Pokud model není úplný nebo neodpovídá realitě, pak rozhodnutí přijatá na jeho základě nebudou správná.

Význam modelování procesů spočívá v několika základních faktech (Kuchař, 2011):

- explicitně identifikuje kompetence a zodpovědnosti zaměstnanců podniku,
- využívá se při zaškolování nových pracovníků,
- popis procesu ujasňuje postupy během zpracovávání zákaznických požadavků,
- umožňuje měření a zdokonalování procesů,
- zprostředkovává automatické provádění částí procesů,
- jedná se o nedílnou součást procesního řízení.

K samotnému modelování procesů lze přistupovat skrze více nástrojů. Mezi reálně používané formy a notace modelování řadíme (Rábová, 2014):

- prostý textový popis,
- procesní mapy,
- IDEF (Integration Definition),
- EPC (Event-driven Process Chain),
- UML (Unified Modeling Language),
- notaci BPMN,
- notaci Eriksson-Penker,
- Petriho sítě.

Poslední tři zmíněné formy a notace modelování budou blíže rozebrány v následujících kapitolách. Notace BPMN především díky faktu, že se jedná o hlavní modelovací nástroj použitý v této práci. Dále také bude popsána notace Eriksson-Penker, jež zde poslouží k porovnání výhod a nevýhod modelování vůči BPMN a Petriho sítě, jakožto prostředek pro řešení blokad v procesu.

### **Procesní analýza**

Procesní analýza (někdy též analýza procesů) je všeobecný pojem pro analýzu toku práce v podnicích, kde umožňuje pochopit, zdokonalit a řídit procesy. Procesní analýza se tedy zaměřuje na postup práce od jednoho pracovníka k druhému a při tom popisuje vstupy, výstupy, dílčí kroky i spotřebu zdrojů (Management Mania, 2013). Analýza se může týkat jak jednoho konkrétního procesu, tak i všech procesů ve společnosti.

V podstatě rozeznáváme tři základní důvody, proč organizace analyzují svoje procesy. Mezi tyto důvody řadíme (Management Mania, 2013):

- popis procesů (např. popis postupů práce, funkční specifikace při vývoji aplikací),
- řízení a automatizace procesů (např. automatické vytváření elektronických faktur),
- optimalizace procesů.

Při provádění analýzy procesů je důležité eliminovat všechna rizika, která mohou v jejím průběhu nastat. Typicky se jedná o nesprávně prováděnou analýzu, špatně zvolený nástroj či postup.

Výstupy procesní analýzy mohou být v podobě grafické (procesní mapa, procesní modely), slovní, nebo ve formě jinak strukturovaného popisu. Následně tyto výstupy slouží jako podklady v procesu optimalizace.

## Procesní optimalizace

Procesní řízení a postupná inovace procesů uvnitř podniku (Business Process Improvement, BPI) vyžadují (Conger, 2011):

- „zeštíhlení procesu“ (leaning) – eliminace kroků nepotřebných pro zlepšení,
- „vyčištění procesu“ (cleaning) – zjednodušení a inovace zbývajících kroků,
- „ekologizaci procesu“ (greening) – využívání outsourcingu, koprodukce nebo automatizace.

Typické inovování procesů pak zahrnuje následující kroky (Brocke, 2010; Cadle, 2014):

- mapování klíčových podnikových procesů,
- identifikace a odstranění nedostatků,
- identifikace problémů,
- stanovení priorit problémů,
- identifikace základních příčin problémů a jejich náprava,
- analýza alternativ,
- změna návrhu procesů.

Z praktického hlediska můžeme optimalizační úlohu definovat následovně. Mějme daný systém či proces, v němž hledáme nejlepší možné řešení splňující stanovená omezení. Matematický model optimalizační úlohy se většinou skládá ze tří částí (Sterman, 1991):

- **Cílová funkce** specifikuje cíl nebo záměr, který je potřeba minimalizovat, či maximalizovat. Jako příklad lze uvést systémové náklady nebo zisk.
- **Rozhodovací proměnné** jsou možnosti, ze kterých můžeme vybírat.
- **Omezující podmínky** omezují výběr přípustných rozhodovacích proměnných. Tyto podmínky se dají v optimalizačních úlohách vyjádřit sadou rovnic a nerovnic a tvoří takzvané vlastní omezení úlohy.

Optimalizace je často používanou úlohou ve většině inženýrských činností. Nicméně v mnoha případech se tato úloha provádí metodou pokusu a omylu (skrze případovou studii) (Satyanarayana, 2012). Abychom předešli této pracovní metodě, využíváme systematického přístupu, který je efektivní a také poskytuje určité záruky, že nelze nalézt lepší řešení.

Výzkum zabývající se optimalizací můžeme pozorovat na mnoha různých úrovních, které se navzájem prolínají, avšak ve skutečnosti je často považujeme za samostatné (Dumas, 2013; Niederman, 2010; Schick, 2014):

- Na úrovni *matematického programování* se výzkum zaměřuje na pochopení základních vlastností optimalizačních problémů a algoritmů.

- Úroveň *vědeckých výpočtů* je značně ovlivněna matematickými vlastnostmi, jakož i implementací optimalizačních metod k jejich efektivnímu a praktickému využití.
- Na úrovni *operačního výzkumu* je pozornost zacílena na formulaci a vývoj strategie řešení optimalizačního problému s využitím osvědčených metod.
- Na *inženýrské úrovni* aplikujeme optimalizační strategie na náročné a často špatně definované problémy z reálného světa.

Z výše uvedeného popisu výzkumu zabývajícího se optimalizací vyplývá, že úspěšný vývoj optimalizační strategie v rámci určité úrovně vyžaduje znalosti předcházejících úrovní. Například zatímco na úrovni matematického programování je důležité vytvořit správný optimalizační algoritmus, tak na inženýrské úrovni je pak mnohem důležitější řešit správnou formulaci optimalizačního problému (Biegler, 2010).

## Shrnutí

V kapitole byly nedefinovány obecné pojmy z oblasti procesního řízení a procesního modelování používané v této práci. Konkrétně kapitola věnovaná představení procesního řízení ukázala více pohledů na to, jak vymezit podnikový proces. Ten jako takový bude formulován a analyzován v praktické části práce na základě zde uvedených pojmů (typ procesu, cíle, KPI ad.).

Část zabývající se procesním modelováním stanovila prostředky, které poslouží k namodelování zmíněného procesu. Z tohoto důvodu jim bude věnováno více prostoru v následujících několika kapitolách. Jakmile bude namodelován současný stav procesu, přistoupím k jeho optimalizaci na základě analýzy výstupů Petriho sítě.

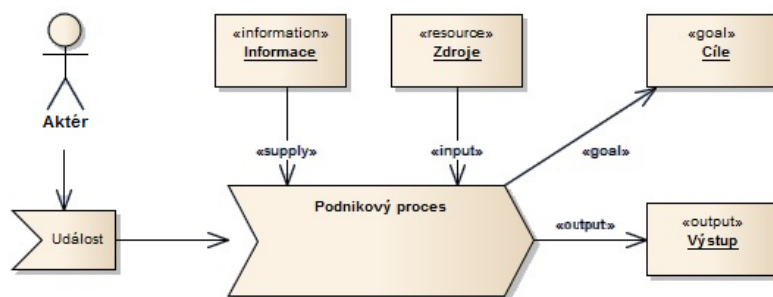
## 4.2 Eriksson-Penkerova notace

Notace Eriksson-Penker byla vytvořena jako reakce na praktickou nepoužitelnost původního rozšíření jazyka UML pro potřeby modelování podnikových procesů (Řepa, 2012). Notace jako taková byla zveřejněna v roce 2000 (Eriksson, 2000). Eriksson-Penkerův profil se stal díky své komplexnosti, obsahové kvalitě a rozsáhlé praktické využitelnosti nejpoužívanějším profilem UML pro modelování procesů. Zmíněný profil UML poskytuje čtyři základní pohledy na podnik (Mišovič, 2013):

- **Strategický pohled (vize organizace)** se orientuje na hodnoty a strategické cíle organizace. Kvůli požadavkům dynamického trhu je strategický pohled flexibilně měněn.
- **Procesní pohled** zahrnuje podnikové procesy, jejich podnikový kontext, funkcionalitu pro dosažení strategických cílů formulovaných v podnikové vizi a vzájemné souvislosti. Pohled je většinou vrstevného charakteru.

- **Strukturní pohled** popisuje podnikové zdroje, jako organizační jednotky, dokumenty, informace, znalosti a další.
- **Pohled na chování organizace** zahrnuje vzájemnou interakci jednotlivých prvků organizace (zdroje a procesy). Důležitou součástí tohoto pohledu je také přiřazení odpovědnosti za podnikové prvky.

V rámci těchto čtyř uvedených pohledů je definována nejen řada stereotypů a omezení (procesy, zdroje, pravidla a cíle), ale i grafické diagramy, jež v sobě zahrnují jisté netypické grafické notace (Mišovič, 2013). Výše uvedené prvky graficky zachycuje procesní diagram v notaci Eriksson-Penker (Obr. 2).



Obr. 2 Eriksson-Penker procesní diagram

Výčet hlavních prvků nacházejících se v procesním diagramu je následující (Štencl, 2007):

- **Cíle (goal)** – objekty, reprezentující předem definované cíle daného procesu. Cílem může být například kvalita produkce.
- **Vstupy (input)** – objekty, jež proces spotřebovává nebo přetváří (např. lidské zdroje).
- **Výstupy (output)** – objekty, které se vztahují k cíli a jsou výsledkem procesu.
- **Podpůrné objekty (supply)** – procesem užívané, ale nespotebované objekty (např. informace).
- **Řídící objekty (information)** – objekty, řídící běh procesu.

V diagramu jsou používány i mnohé prvky z UML. V souvislosti s lidskými zdroji se jedná například o *aktéra*. Dále také symbol pro *událost*, jejímž prostřednictvím aktér spouští proces.

### 4.3 BPMN

Business Process Modeling Notation je grafická notace (soubor grafických objektů a pravidel, podle nichž jsou mezi sebou spojovány) sloužící k modelování podnikových procesů (Vašíček, 2008). BPMN vyvinulo konsorcium BPMI (Business Process Management Initiative), jehož hlavním cílem bylo vytvořit notaci čitelnou pro



všechny, kteří se účastní životního cyklu procesu (analytici, vývojáři, vlastníci podnikových procesů a další).

Současný význam zkratky BPMN (od verze 2.0, doplnění metamodelu) je Business Process Model and Notation, což vyjadřuje skutečnost, že se jedná o více než jen pouhou notaci (Allweyer, 2010). Díky BPMN se zdárně podařilo snížit komunikační mezeru při návrhu a implementaci procesu. Kvůli mnoha nástrojům, které ho v praxi používají, se BPMN stalo standardem pro modelování podnikových procesů.

Notace BPMN v první řadě klade důraz na srozumitelnost popisu procesů pro uživatele, ale při zachování základních principů jazyka BPML (Business Process Modeling Language), které jsou flexibilita a šířitelnost. V závislosti na této charakteristice BPMN rozeznává tři druhy modelů (Řepa, 2007):

- **Privátní procesy** – interní procesy organizace.
- **Veřejné abstraktní procesy** – zobrazují informace mimo privátní procesy za účelem vzájemného působení privátních procesů rozličných organizací. Definiují obecné rozhraní privátních procesů s okolím.
- **Procesy spolupráce** – zachycují interakci dvou nebo více specifických business entit. Od veřejných procesů se liší tím, že určují rozhraní k jiným procesům.

BPMN definuje Business Process Diagram (BPD), který je tvořen množinou grafických objektů a zobrazením toku informací mezi nimi (White, 2004). Při práci s BPD rozlišujeme čtyři základní kategorie grafických elementů, a to: tokové objekty, spojovací objekty, artefakty a takzvané plavecké dráhy. Tyto prvky umožňují jednoduchý vývoj velice přehledných diagramů.

### Tokové objekty

Tokové objekty (Flow objects) patří mezi hlavní popisovací prvky v notaci a jako takové souvisí s tokem informací v procesu. BPMN rozeznává tři druhy těchto objektů:

- **Událost (Event)** – přímo ovlivňuje tok podnikového procesu. Události se člení na počáteční (Start event), průběžné (Intermediate event) a koncové (End event) a jsou reprezentovány kruhem (Obr. 3). Každý kruh může být ještě označen ikonou, jež upřesňuje danou událost.



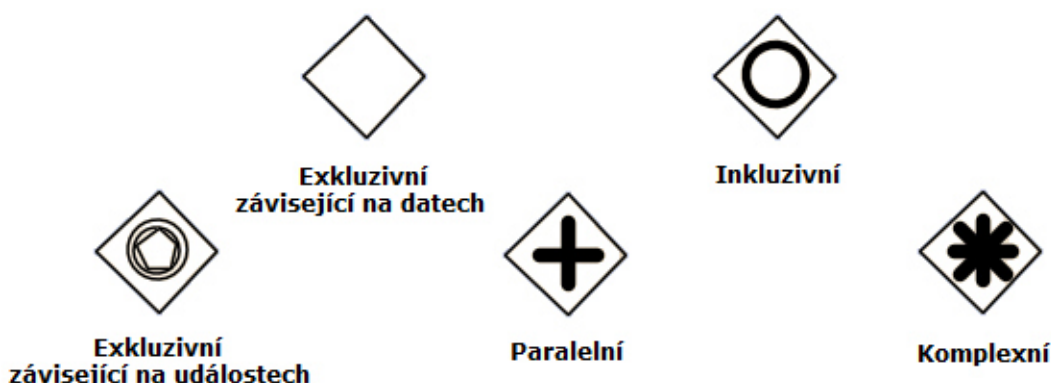
Obr. 3 Základní typy událostí v BPMN

- **Aktivita (Activity)** – znázorňuje činnosti, které musí být vykonány. Značí se obdélníkem s kulatými rohy. Aktivita může být buďto jednoduchý úkol (Task), nebo složená z procesu (Sub-process). Grafické rozdělení aktivit je zachyceno na Obr. 4.



Obr. 4 Aktivita v BPMN

- **Brána (Gateway)** – je reprezentována kosočtvercem. Používá se pro větvení, nebo sloučení toků procesu (například rozhodování či paralelní zpracování) v závislosti na definovaných podmínkách. U bran rozlišujeme čtyři základní typy (Obr. 5): exkluzivní, inkluzivní, komplexní a paralelní.
  - **Exkluzivní brány** vytváří několik možných cest, přičemž tok procesu může vést pouze jednou z nich. Tento typ bran dále dělíme na brány závislé na datech (cesta se vybírá podle nadefinované podmínky) a brány závislé na událostech (cesta se vybírá podle výsledku události).
  - **Inkluzivní brány (všeobecné)** mají využití tam, kde tok procesu může pokračovat přes bránu více než jen jednou cestou. Na konci se pak obvykle všechny cesty slučují zpět do jedné.
  - **Komplexní brány** se používají na místech, kde nelze použít žádný z předchozích typů bran a kde dochází k dělení cest ve více branách.
  - **Paralelní brány** se používají v případě, kdy tok procesu probíhá více cestami najednou (Object Management Group, 2013).

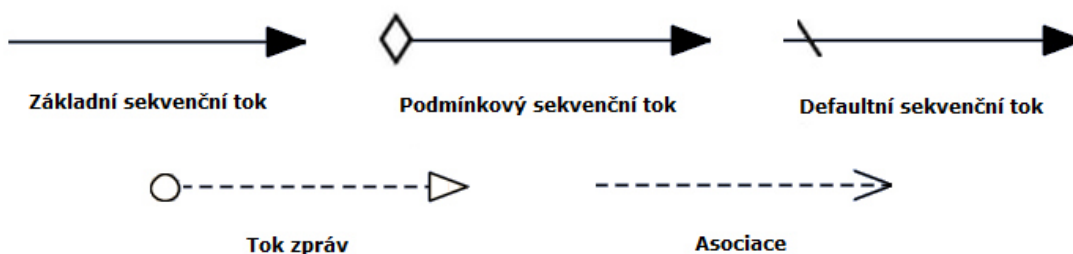


Obr. 5 Základní typy bran v BPMN

## Spojovací objekty

Jak již z názvu vyplývá, spojovací objekty (Connecting objects) se využívají k propojení jednotlivých elementů v diagramu a spolu s tokovými objekty vytváří jeho základní strukturu. Spojovací objekty rozdělujeme na 3 podskupiny: sekvenční tok, tok zpráv a asociaci (Obr. 6).

- **Sekvenční tok (Sequence flow)** – je vyjádřen nepřerušovanou čarou s vyplněnou šipkou, určuje pořadí (sekvenci), v jakém jsou dané činnosti prováděny.
- **Tok zpráv (Message flow)** – přerušovaná čára s prázdnou šipkou a kroužkem, znázorňuje komunikaci (tok zpráv) mezi účastníky procesu.
- **Asociace (Association)** – přerušovaná čára, používá se pro připojení textu nebo artefaktů k tokovým objektům.



Obr. 6 Spojovací elementy v BPMN

## Artefakty

Artefakty (Artifacts) představují v modelu pouze další upřesňující informace pro proces, a tudíž nemají vliv na tok procesu. Do artefaktů spadají datové objekty, seskupení a poznámky (Obr. 7).

- **Datové objekty (Data objects)** – reprezentují data, které jsou vyžadovány či produkovány aktivitou. Pro spojení datového objektu s aktivitou se využívá asociace. Datové objekty značíme obdélníkem s přehnutým rohem.
- **Seskupení (Group)** – představuje seskupení různých aktivit, ovšem bez vlivu na sekvenční tok. Seskupení může sloužit nejen pro dokumentaci, ale také pro analytické účely a značí se obdélníkem s přerušovanou čarou.
- **Poznámka (Annotation)** – poskytuje dodatečné textové informace pro modeláře. Díky poznámkám je diagram srozumitelnější a přehlednější.



Obr. 7 Artefakty v BPMN

## Plavecké dráhy

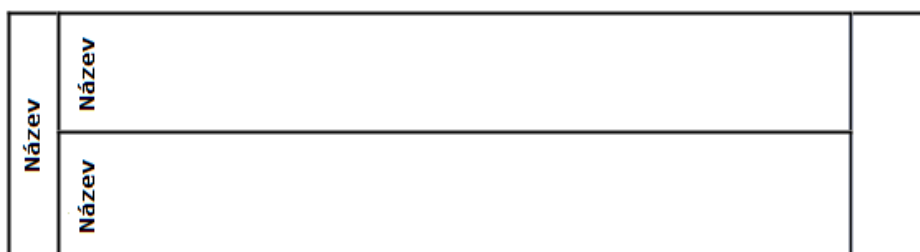
Plavecké dráhy (Swimlanes) se používají jako vizuální mechanismus k organizování a kategorizaci účastníků procesu i činností v diagramu. V BPMN rozlišujeme dva typy drah: bazén a dráhu.

- **Bazén (Pool)** – vymezuje účastníka procesu, jehož jméno je uvedeno v záhlaví bazénu (Obr. 8). Bazén má obvykle jednu nebo více drah a v rámci jednoho bazénu se nachází právě jeden konkrétní proces. Komunikace mezi bazény probíhá prostřednictvím toku zpráv (Message flow).



Obr. 8 BPMN Bazén

- **Dráha (Lane)** – je podmnožinou bazénu. Obecně dráhy (Obr. 9) slouží k uspořádání aktivit uvnitř bazénu na základě funkcí nebo rolí. Při komunikaci mezi dráhami se využívá sekvenčního toku (Sequence flow).



Obr. 9 BPMN Dráha

## Porovnání notací BPMN a Eriksson-Penker

Notace BPMN zachycuje dynamickou stránku procesu, tudíž její záměr je vystihnout logiku postupu dílčích činností uvnitř procesu. Dále je také BPMN mnohem vhodnější pro modelování procesů s jednodušší logikou, kvůli větší přehlednosti diagramu.

Notace Eriksson-Penker se na rozdíl od BPMN soustředí na modelování statické struktury procesů. Hlavní podstatou této notace je zaměření se na konkrétní procesy, jejich interakci a atributy. Srovnání obou notací na základě čtyř charakteristických parametrů lze pozorovat v tabulce 1.

Tab. 1 Porovnání notací BPMN a Eriksson-Penker

Parametr	BPMN	Eriksson-Penker
Pohled na podnikový proces	detailní	globální
Pohled na chování procesu	dynamický	statický
Schopnost modelovat složitější procesy	ano (ale vzhledem k nižší přehlednosti diagramu se příliš nedoporučuje)	ano
Standard podle OMG (Object Management Group)	ano	ne

Z dat uvedených v tabulce porovnávající notace BPMN a Eriksson-Penker vyplývá, že pro účely této práce bude vhodnější použít notaci BPMN. Výsledný model vytyčeného procesu totiž musí být kvůli následné optimalizaci nejen velice detailní, ale musí zachycovat i samotnou dynamiku procesu. BPMN je také celosvětově uznávaný standard pro modelování podnikových procesů, což rovněž podporuje zvolenou variantu.

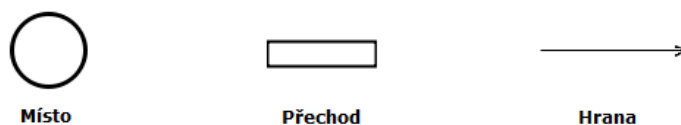
### Shrnutí

Notace BPMN zmíněná v této části vymezuje celosvětově uznávaný standard, který bude využit při modelování vytyčeného procesu v praktické části. Konkrétně tedy v případě procesního modelu původního stavu procesu a dále také v případě navržených inovací tohoto procesu. BPMN bylo vybráno pro jeho specifické vlastnosti, jež umožňují zachytit potřebný detail i dynamiku modelovaného procesu.

## 4.4 Petriho síť

Petriho síť (Petri Nets, PN), jejichž základy položil německý matematik Carl Adam Petri ve své disertační práci v roce 1962, představují velice silný nástroj (grafický i matematický) pro modelování distribuovaných systémů (Dorda, 2010). Pro Petriho síť je charakteristický orientovaný bipartitní graf, který reprezentuje strukturu daného systému. V těchto grafech se mohou nacházet celkem tři druhy objektů (Obr. 10): místa (places), přechody (transitions) a hrany (arcs).

*Místa* v sobě obsahují stavovou informaci ve formě tzv. tokenů (značek). Místa mají také definovanou kapacitu. Kapacita udává maximální počet značek, které může dané místo pojmout. *Přechody* značí možné změny stavů, tedy události, jež mohou nastat. *Orientované hrany* znázorňují logické vazby. Hrany mohou být pouze mezi místy a přechody, nikdy se tedy nenachází mezi dvěma místy či dvěma přechody. Další typická vlastnost pro hrany je jejich váha. Ta udává její násobnost a je definována pro všechny hrany v síti.



Obr. 10 Základní elementy v Petriho sítích

Formální definice Petriho sítě říká, že se jedná o pěticu  $PN = (P, T, F, W, M_0)$ , kde (Dong, 2010):

- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$  je konečná množina míst,
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  je konečná množina přechodů,
- $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$  je množina hran,
- $W: F \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$  je váhová funkce,
- $M_0: P \rightarrow \{0, 1, 2, 3, \dots\}$  je počáteční označování,
- $P \cap T = \emptyset$  a  $P \cup T \neq \emptyset$ .

Značnou výhodou modelování procesů prostřednictvím Petriho sítí je jejich formální popis, jenž doplňuje přehledné grafické zobrazení (Rábová, 2011). To umožňuje přesnou specifikaci procesu, a tudíž odstranění kontradikce, nejednoznačnosti a neurčitosti.

### Place/Transition Petriho sítě

Postupem času bylo vytvořeno několik modifikací Petriho sítí. *Place/Transition Petriho sítě* (Place/Transition Petri Nets, P/T PN) reprezentují původní koncept Petriho sítí. Elementy, ze kterých se P/T Petriho sítě skládají, jsou místa, přechody a orientované hrany (viz výše). Přechod  $t$  je proveditelný v případě, že:

- každé vstupní místo  $p$  přechodu  $t$  obsahuje minimálně tolik tokenů, kolik činí váha hrany, která vede z místa  $p$  do přechodu  $t$ ,
- každé výstupní místo  $p$  přechodu  $t$  obsahující daný počet tokenů navýšených o váhu hrany vedoucí z přechodu  $t$  do místa  $p$  nepřevyšuje kapacitu místa  $p$  (Markl, 2006).

Provedením proveditelného přechodu  $t$  se stav značení sítě změní následovně:

- počet tokenů v každém vstupním místě  $p$  přechodu  $t$  se sníží o váhu hrany, která propojuje místo  $p$  s přechodem  $t$ ,
- počet tokenů v každém výstupním místě  $p$  přechodu  $t$  se zvýší o váhu hrany, která propojuje přechod  $t$  s místem  $p$  (Markl, 2006).

K dalším modifikacím Petriho sítí řadíme Condition/Event Petriho sítě (Condition/Event Petri Nets, C/E PN), P/T Petriho sítě s inhibičními hranami, P/T Petriho sítě s prioritami, časované Petriho sítě (Timed Petri Nets, TPN), barevné Petriho sítě (Coloured Petri Nets, CPN), hierarchické Petriho sítě (Hierarchical Petri Nets, HPN) a objektové Petriho sítě (Object Oriented Petri Nets, OOPN).

## C/E Petriho síť

*C/E Petriho síť* jsou speciálním případem *P/T Petriho sítí* a skládají se z podmínek, událostí a orientovaných hran. Na rozdíl od *P/T Petriho sítí* může podmínka obsahovat pouze jednu značku (Dorda, 2010). Tato značka vyjadřuje pravdivost jednotlivých podmínek. Podmínka je splněna pokud se v ní token nachází a naopak. Událost může proběhnout, jestliže jsou všechny její vstupní podmínky splněny a zároveň nesplněny všechny výstupní podmínky.

## P/T Petriho síť s inhibičními hranami

*P/T Petriho síť s inhibičními hranami* i další zmíněné již patří do takzvaných *Petriho sítí* vyšší úrovně. Inhibiční hrana je specifický případ hrany grafu směřující pouze od místa k přechodu. Přechod  $t$  je proveditelný, pokud vstupní místo  $p$  přechodu  $t$  obsahuje méně tokenů, než kolik činí váha inhibiční hrany propojující místo  $p$  s přechodem  $t$ .

## P/T Petriho síť s prioritami

*P/T Petriho síť s prioritami* zavádějí prioritní úrovně, což se odráží ve více možnostech modelování při návrhu systému. Každý přechod v síti má přiřazeno celé nezáporné číslo udávající jeho prioritu. V případě, kdy jsou přechody v konfliktu, se provede přechod s nejvyšší prioritou. Přechod  $t$  je proveditelný, jestliže je povolen a současně neexistuje jiný povolený přechod s vyšší prioritou (Dorda, 2012).

## Časované Petriho síť

Žádná z dosud zmíněných *Petriho sítí* nepracuje s časem, veškeré změny v síti se tudíž provedou okamžitě. Nicméně v reálném systému trvá každá událost nějakou stanovenou dobu. *Časované Petriho síť* zavádějí možnost popisu časových vztahů v daném systému, a právě proto budou využity v této práci jako prostředek pro řešení blokáží vytyčeného reálného procesu z oblasti výroby.

Trvání dějů lze v tomto druhu sítí charakterizovat jako deterministické (časované *Petriho síť*), stochastické (SPN – Stochastic Petri Nets, stochastické *Petriho síť*) a kombinované (GSPN – Generalized Stochastic Petri Nets, zobecněné stochastické *Petriho síť*) (Markl, 2006). Časového faktoru pak využíváme u těchto elementů (Dorda, 2012):

- **Přechody** – po dobu trvání přechodu pobývají tokeny uvnitř přechodu.
- **Místa** – token pobývá určenou dobu (doba trvání přechodu) ve vstupním místě přechodu, jež má být proveden.
- **Hrany** – pohyb tokenů po konkrétní hraně probíhá konečnou rychlostí a trvá tak určitou dobu.

- **Tokeny** – provádění přechodů v časované Petriho síti je sice okamžité, avšak tokeny opouštějící provedený přechod jsou zde opatřeny takzvaným časovým razítkem (time stamp), které určuje, kdy mohou být dané tokeny znovu použity. Hodnota časového razítka pak odpovídá aktuální hodnotě globálního (simulačního) času navýšeného o příslušnou hodnotu.

### Barevné Petriho síť

*Barevné Petriho síť* představují další rozšíření klasické P/T „černobílé“ sítě. Konkrétně v tomto druhu se jedná o rozšíření v podobě rozlišení tokenů barvami. Každé místo v síti má svou přiřazenou třídu tokenů (typ tokenů), která určuje příslušnost dané značky ke konkrétnímu místu. U přechodu můžeme nadefinovat podmínku přechodu, dávající po vyhodnocení pravdivostní hodnotu 0 nebo 1.

Hranové výrazy, jež zde nahrazují váhy hran, představují po vyhodnocení multimnožinu tokenů té třídy, která náleží incidujícímu místu (Markl, 2006). Proveditelnost přechodu  $t$  pak závisí na splnění podmínky přechodu a zároveň vstupní multimnožina tokenů musí být větší nebo rovna vypočtené multimnožině po vyhodnocení příslušného hranového výrazu.

### Hierarchické Petriho síť

Hierarchický způsob návrhu a modelování systému odstraňuje řadu nevýhod plynoucích z toho jednoúrovňového. Mezi hlavní nedostatky jednoúrovňového způsobu řadíme žádné či nevyhovující zachycení vnitřní struktury navrhovaného systému a také přílišný záběr na detail při modelování sítě.

*Hierarchické Petriho síť* jsou složeny z jednotlivých vzájemně propojených podsítí, což má za následek zvýšení přehlednosti vytvářené sítě. Hierarchická Petriho síť představuje částečně uspořádanou množinu nehierarchických Petriho sítí („stránek“). Stránka A je tedy podstránkou stránky B, jestliže síť na stránce A rozvíjí některý prvek ze stránky B (Dorda, 2010). Pro účely rozvíjení se využívá substituce přechodů, substituce míst, volání přechodů, slučování přechodů a slučování míst.

### Objektové Petriho síť

*Objektové Petriho síť*, jež vznikly integrací Petriho sítí a objektově orientovaného přístupu, lze přirovnat k objektově orientovaným programovacím jazykům. Značky v těchto sítích modelují objekty. Tyto objekty pak mohou být složeny z různých atributů. Metody jsou zde reprezentovány přechody, které zprostředkovávají například vytváření nových objektů, či ničení těch starých.

Hrany směřující do přechodu obsahují booleovské výrazy odkazující na hodnoty atributů vstupních značek. Naopak hrany směřující z přechodu slouží ke změně hodnot atributů značek, a to prostřednictvím přiřazovacích příkazů, jimiž bývají opatřeny (Jedlička, 2010).



### **Porovnání typů Petriho sítí**

U Petriho sítí rozlišujeme několik variant, jak bylo zmíněno výše. Každá síť má své vlastní specifické vlastnosti, které mohou být efektivně využívány při modelování určitých systémů. K jednotlivým typům se vážou také jisté výhody a nevýhody jejich použití. Hlavní rozdíly mezi těmito variantami jsou přehledně zachyceny v tabulce 2.

Tab. 2 Porovnání vlastností základních druhů Petriho sítí

<b>Druh sítě</b>	<b>Místo použití</b>	<b>Výhody</b>	<b>Nevýhody</b>
C/E Petriho síť	modelování jednoduché interakce v menších systémech či logických funkcí	jednoduchost použití bez předchozích znalostí (místa mohou reprezentovat pouze dva stavy)	nejnižší vyjadřovací síla z uvedených Petriho sítí (odpovídá vyjadřovací síle konečných automatů), nezachycuje časový faktor
P/T Petriho síť	modelování středně složitých systémů z logického hlediska	ověřuje základní strukturu modelu, určuje počáteční značení	nevěnuje pozornost časovým vztahům a omezením
P/T Petriho síť s inhibičními hranami	modelování chybových stavů v systémech (inhibiční hrana představuje negativně pojatou testovací hranu)	vyšší modelovací síla než u obyčejných P/T Petriho sítí (rovna modelovací síle Turingových strojů)	nezachycuje časový faktor
P/T Petriho síť s prioritami	modelování systémů vyžadujících zachycení priority (např. procesy s přístupem do databáze – operace čtení a zápis)	vyšší modelovací síla (rovna P/T Petriho sítím s inhibičními hranami), umožňuje více možností návrhu systému	redefinuje některé pojmy, nutnost modifikace metod analýzy, nezachycuje časový faktor

Časovaná Petriho síť	modelování reálných systémů (v případě potřeby zachycení časových vztahů)	zachycuje časový faktor	složitě použití formálních metod analýzy nečasovaných Petriho sítí k analýze sítí časovaných (v případě využití časovaných přechodů)
Barevná Petriho síť	modelování systémů s důrazem na komunikaci, synchronizaci a sdílení zdrojů	zachycuje více detailů v modelu, umožňuje práci s více typy tokenů	značná rozsáhlost grafů při modelování velice komplexních diskrétních událostních systémů
Hierarchická Petriho síť	modelování složitějších systémů s požadavkem na jeho členění na jednotlivé podsítě	rozděluje systém na dobře definované komponenty, jednodušší údržba systému, možnost vícenásobného užití komponent během návrhu systému	obtížný výpočet invariant této sítě
Objektová Petriho síť	modelování reálných systémů založených na objektovém principu	podrobný popis vlastností prvků skrze objekty a jejich atributy	vyšší složitost a obtížnější analýza objektové sítě

Zdroj: Guasch, 2002; Markl, 2006; Rábová, 2011; Seferlis, 2004

## Shrnutí

Petriho síť poslouží v této práci jako prostředek pro podporu analýzy a následnou optimalizaci procesu. Konkrétně zde tedy bude využita časovaná Petriho síť, vzhledem k potřebě zachytit časové vazby v reálném procesu. Tato síť bude vytvořena na základě procesního modelu původního stavu procesu. Následná optimalizace pak bude vycházet z informací o blokácích v procesu získaných při samotné simulaci Petriho sítě.

## 4.5 PHP

PHP (PHP: Hypertext Preprocessor) je skriptovací programovací jazyk, jehož první verze byla vytvořena v roce 1994 programátorem Rasmusem Lerdorfem (Procházka, 2012). Jedná se o programovací jazyk určený především k programování dynamických internetových aplikací. Současně se jedná také o nejrozšířenější programovací jazyk pro skriptování na straně serveru při tvorbě webových stránek (W3Techs, 2015). PHP skript se tedy nejprve vykoná na straně serveru a následně odešle prohlížeči pouze výsledek.

Jazyk jako takový je platformě nezávislý, což značí, že skripty v něm napsané lze přenášet mezi operačními systémy téměř bez jakýchkoliv změn. Současnou stabilní verzí produktu PHP 5 je verze PHP 5.6.5 (PHP Group, 2015).

Programování v PHP, stejně jako programování v jiných jazycích skýtá jisté výhody i nevýhody. Stručný přehled kladných a záporných vlastností je zachycen v následujících dvou odstavcích.

### Výhody použití PHP

- Jednoduchá a srozumitelná syntaxe
- Multiplatformnost
- Velké množství funkcí v základní knihovně
- Velice dobrá spolupráce s webovým serverem Apache
- Nativní podpora mnoha databázových systémů (MySQL, PostgreSQL, MS SQL a dalších)
- Značná podpora na hostingových službách
- Rozsáhlá dokumentace (Procházka, 2012)

### Nevýhody použití PHP

- Poměrně nízká zpětná kompatibilita
- Podpora objektového programování je na nižší úrovni, oproti jiným moderním programovacím jazykům
- Každý s přímým přístupem k serveru, může číst zde uložené PHP skripty
- Nekonzistentnost v pojmenovávání funkcí (Procházka, 2012)

## 4.6 MySQL

MySQL je systém řízení relačních databází (Relational Database Management System, RDBMS), který vytvořila švédská firma MySQL AB v roce 1995 (DuBois, 2013). Ve své podstatě se jedná o softwarový prostředek, umožňující ukládání velkého množství různorodých dat, nyní vlastněný společností ORACLE. Aktuální stabilní verze tohoto nástroje je MySQL 5.6 (MySQL documentation, 2015).

MySQL se řadí mezi relační databázové systémy, což značí typ databáze založené na tabulkách. Mezi těmito tabulkami pak existuje jistá logická vazba (relace). Komunikace v této multiplatformní databázi je realizována prostřednictvím strukturovaného dotazovacího jazyka SQL (Structured Query Language). K hlavním výhodám MySQL řadíme vysoký výkon, open source řešení a multiplatformnost.

## 4.7 Použité technologie a nástroje pro řešení

### AccuProcess Modeler

AccuProcess Modeler je jednoduše použitelný nástroj sloužící k modelování podnikových procesů v notaci BPMN, simulaci těchto procesů a dokumentaci, čímž plně podporuje všechny fáze životního cyklu procesního modelování (analýza-návrh-dokumentace). Ze zmíněných vlastností lze vyzdvihnout především simulaci, jež se využívá hlavně pro účely procesní optimalizace. V současnosti je AccuProcess Modeler dostupný ve verzi 3.2 (AccuProcess, 2014).

Nástroj byl zvolen na základě vytyčených požadavků od zadavatele procesu. Ten požadoval především program nenáročný na obsluhu, podporující modelování v notaci BPMN a možnost simulace procesních nákladů.

### Enterprise Architect

Enterprise Architect od společnosti Sparx Systems je softwarový prostředek sloužící k návrhu a konstrukci softwarových systémů a modelování podnikových procesů (Sparx Systems, 2014). Enterprise Architect pokrývá celý životní cyklus vývoje systému (analýza, návrh, implementace, testování, nasazení, údržba). Současně také podporuje mnoho známých standardů pro návrh a modelování softwaru a podnikových procesů. Například lze uvést standardy jako BPMN, UML, SysML (Systems Modeling Language), SoaML (Service Oriented Architecture Modeling Language) či BPEL (Business Process Execution Language). Enterprise Architect je v současnosti dostupný ve verzi 12 (Sparx Systems, 2015).

Enterprise Architect v této práci zastává roli alternativy vůči nástroji AccuProcess Modeler. Tento nástroj zároveň poslouží jako prostředek pro modelování inovací vytyčeného procesu. Specifické vlastnosti obou těchto nástrojů jsou porovnány v tabulce 3.

Tab. 3 Porovnání klíčových vlastností nástrojů AccuProcess Modeler a Enterprise Architect pro modelování v BPMN

Parametr	AccuProcess Modeler	Enterprise Architect
Intuitivní ovládání	ano	ano
Určení ceny a výkonu	ano	ne
Simulace	ano, rozšiřující vlastnost	ne
Malé firmy	ano	ne
Střední firmy	ano	ano
Velké firmy	ne	ano
Analýza procesu	ano	ano
Dokumentace	ano (šablony)	ano
Multiplatformnost	ano	ano
Instalace na PC	ano	ne
Open source	ne	ne
Podpora BPMN	neúplná podpora pro značky	úplná podpora pro značky
Podpora více BPMN bazénů v jednom diagramu	ne, omezení na jeden	ano
Cena	1299 USD/1 PC (Enterprise Edition)	599 USD/1 PC (Business and Software Engineering Edition)

Zdroj: AccuProcess, 2015; Sparx Systems, 2015

### Petri .NET Simulator

Petri .NET Simulator představuje nástroj pro modelování a simulaci Petriho sítí. Simulace zde slouží jako prostředek při analýze chování vytvořených modelů. Program je aktuálně dostupný zdarma, a to ve verzi 2.0 (Genter, 2004).

V nástroji Petri .NET Simulator se konkrétní časové hodnoty přiřazují k místům v síti. Základní časová jednotka využívaná v průběhu realizace simulační funkce je milisekunda. Simulace může být spuštěna tak, aby proběhla celá, nebo ji lze pro větší přehlednost krokovat. Průběh simulace se pak dá řídit skrze pravidla, která se přiřazují k jednotlivým místům v síti. Nástroj Petri .NET Simulator umožňuje spouštět simulace jak časovaných, tak časově invariantních Petriho sítí.

### Nette Framework

Nette Framework je moderní open source řešení pro tvorbu webových aplikací v programovacím jazyce PHP. Původním autorem tohoto nástroje, jehož první verze byla vydána již v roce 2004, je David Grudl. V současnosti se o vývoj frameworku

ku stará organizace Nette Foundation, která svou činností navázala na zmíněného autora. Aktuální stabilní verze Nette Frameworku je 2.2.7 (Nette Foundation, 2015).

Velkou výhodou Nette je jeho propracovaná podpora moderních technologií jako AJAX (Asynchronous JavaScript and XML), DI (Dependency Injection), MVP (Model-View-Presenter), Web 2.0 a dalších. Nette Framework disponuje mimo jiné i mnoha ladícími nástroji a bezpečnostní technologií, jež se zaměřuje na eliminaci výskytu bezpečnostních děr a jejich zneužití.

### **Shrnutí**

Technologie a nástroje nadefinované v této kapitole budou využity v rámci řešení celé praktické části práce. Veškeré procesní modely vzniknou v nástrojích Accu-Process Modeler a Enterprise Architect. K vytvoření časované Petriho sítě i vykonání simulace poslouží program Petri .NET Simulator. Webová aplikace pro správu procesů pak bude implementována pomocí PHP frameworku Nette, což zajistí její rychlý vývoj a přehlednost zdrojového kódu.

## 5 Vlastní řešení

Kapitola Vlastní řešení se zabývá aplikací teoretických východisek, popsaných v předchozích kapitolách na reálný proces Alarm montážních přípravků ve středně velké společnosti. Tento proces je v současné době definován pouze na základě slovního popisu.

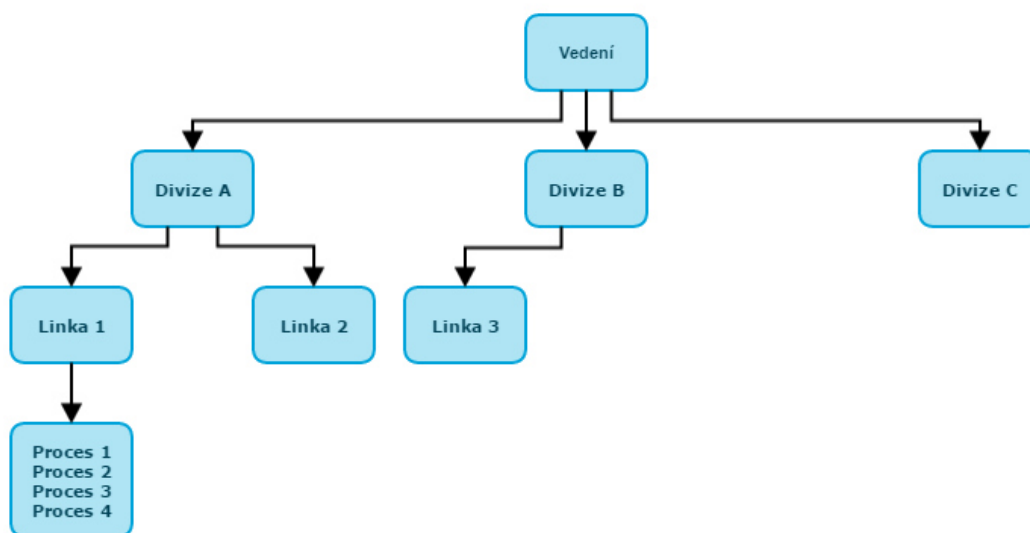
V rámci budoucí podoby procesu dojde k jeho namodelování pomocí notace BPMN, transformaci do časované Petriho sítě a optimalizaci prostřednictvím simulační funkce dané sítě. Inovace vycházející z výsledků realizované simulace budou následně opět namodelovány a otestovány.

### 5.1 Charakteristika společnosti

Modelovaný proces Alarm montážních přípravků pochází z výrobní oblasti středně velké společnosti (méně než 1000 osob). Jedná se obchodní jednotku zaměřenou na automobilový průmysl, která je součástí nadnárodní korporace působící ve více jak 50 zemích světa a s počtem zaměstnanců vyšším než 60 000.

Vnitřní strukturu podniku tvoří nezávislé organizační jednotky (Obr. 11). Divize se zde skládají z linek a linky již z jednotlivých procesů. Některé procesy mohou v nezměněné podobě existovat ve více linkách. Například lze uvést právě proces Alarm montážních přípravků.

Cílem společnosti je zavést jednotnou metodiku pro popis všech procesů, jež se zde vyskytují. Pro tyto účely byla odsouhlasena notace BPMN vzhledem k jejím specifickým vlastnostem zmíněným v teoretické části. Předpokladem této činnosti je také optimalizace procesů a snížení výrobních nákladů.



Obr. 11 Organizační struktura společnosti



## 5.2 Proces Alarm montážních přípravků

Proces Alarm montážních přípravků, spadající do kategorie podpůrných procesů, zastává ve společnosti velice důležitou roli. Tato důležitost plyne především z jeho podpory klíčových výrobních procesů, jež generují výstup pro zákazníky. Hlavním cílem procesu je opravit montážní přípravek, na němž se vyskytla porucha, a tak odemknout spuštěný alarm.

V samotném procesu vystupuje celkem pět zaměstnanců: operátor, seřizovač montážních přípravků, směnový mistr, vedoucí údržby montážních přípravků a linkový vedoucí.

- **Operátor** – obsluhuje montážní stroj za účelem výroby konkrétního produktu.
- **Seřizovač montážních přípravků** – představuje klíčovou roli v procesu. Jeho úkolem je diagnostikovat a opravit vzniklé poruchy na montážních přípravcích.
- **Směnový mistr** – je zodpovědný za dodržení kvality výrobků, plnění výrobních plánů a řízení výrobních operátorů. Spolupracuje s vedoucími linek. Při nočních směnách reprezentuje nejvyšší autoritu.
- **Vedoucí údržby montážních přípravků** – dohlíží na záležitosti spojené s údržbou montážních přípravků. Řeší komunikaci s externími odděleními a objednávkou externích náhradních dílů.
- **Linkový vedoucí** – nese zodpovědnost za plynulý chod celé linky.

### Popis procesu Alarm montážních přípravků

Proces Alarm montážních přípravků (viz příloha A) zahrnuje rozsáhlou posloupnost činností počínaje stisknutím takzvaného Blue buttonu (tlačítko aktivující alarm). Jakmile je alarm operátorem aktivován, tak se k jeho řešení mohou přihlašovat jednotliví seřizovači montážních přípravků (SMP) skrze vnitřní systém podniku. Informaci o přihlášení SMP k úkolu registruje také směnový mistr. Operátor musí 15 minut setrvat na svém pracovišti, a pokud v té době není závada odstraněna, pak mu směnový mistr přidělí jinou práci (montáž v alarmu – spolupráce se SMP, předmontování v alarmu – bez spolupráce se SMP, vykonávání činnosti – nenormovaná práce, vykonávání normované práce – jiná montáž). Tuto práci operátor vykonává až do odemčení alarmu.

SMP po příchodu ke stroji musí identifikovat vyskytlou závadu. V případě, kdy závadu umí odstranit, tak u stroje setrvává. V případě, kdy neví jak ji odstranit, odchází řešit jiný proces (konec procesu Alarm montážních přípravků). Varianta, kdy zůstává u stroje, dále pokračuje vyhodnocením obtížnosti opravy, s čímž se případně může obrátit na vedoucího linky. Směnový mistr následně na základě informace o přihlášení SMP k řešení problému a případně také díky komunikaci s vedoucím linky určí maximální přípustnou dobu opravy stroje a sdělí ji SMP. V tuto chvíli se musí SMP podle svých znalostí rozhodnout, zdali použije na opravu náhradní díl z vlastních zdrojů, externí zdroj či využije konzultaci řešení s jiným oddělením.

Pokud je možné opravu vykonat s využitím dostupných náhradních dílů z vlastních zdrojů, pak mohou nastat v zásadě dvě varianty. Náhradní díl se na skladě vyskytuje jako finální produkt (katalogový díl). V tu chvíli SMP tento díl přiřadí v evidenci k danému stroji a naimplementuje ho. Pokud náhradní díl není skladová položka, potom si musí SMP náhradní díl sám vyrobit (například svařováním či soustružením materiálu) a až poté jej může naimplementovat. V situaci, kdy katalogový díl není skladem, je nutné informovat vedoucího údržby montážních přípravků, který zajistí objednání náhradního dílu. Proces končí předáním informace o čekání na externí díl směnovému mistrovi a vedoucímu linky.

Varianta číslo dvě počítá s využitím externího zdroje (externí firma, externí náhradní díl). Jestliže je k opravě stroje nutná kooperace s externí firmou, pak musí být vydán požadavek na zajištění tohoto druhu opravy. Proces končí podáním informace o požadavku směnovému mistrovi a vedoucímu linky. V případě potřeby externího náhradního dílu proces pokračuje jako v případě, kdy katalogový díl není na skladě.

Poslední z nabízených možností je využití konzultace řešení s jiným oddělením. V závislosti na tom, zdali SMP dokáže komunikovat s jiným oddělením sám, proces pokračuje opravou podle navrženého řešení. Jestliže nikoliv, tak je nutné zapojit vedoucího údržby montážních přípravků, který se o komunikaci postará.

Řešení všech zmíněných variant se pečlivě zaznamenává, a když v průběhu práce vyprší stanovená maximální doba opravy, pak směnový mistr musí přiřadit na opravu stroje dalšího SMP. Jakmile je montážní přípravek opravený, SMP odemkne spuštěný alarm a informuje o tom směnového mistra. Ten následně potvrzuje událost odemčení alarmu operátorovi, což také reprezentuje jediné úspěšné zakončení modelovaného procesu.

### **Simulace procesních nákladů**

Simulace procesních nákladů, vykonaná v modelovacím nástroji AccuProcess Modeler, poskytla důležité informace pro inovaci procesu. Vypovídací hodnota této simulace je však podmíněná správným nastavením specifických parametrů. Mezi tyto parametry se řadí časové hodnoty vztažené k jednotlivým aktivitám vyskytující se v procesu (viz část Transformace BPMN do Petriho sítí) a mzdové náklady na zaměstnance. Hrubé mzdy zaměstnanců, které poskytla společnost, jsou následující: operátor (8,3 Euro/1 hod.), seřizovač montážních přípravků (10 Euro/1 hod.), směnový mistr (12,3 Euro/1 hod.), vedoucí údržby montážních přípravků (15 Euro/1 hod.) a linkový vedoucí (15 Euro/1 hod.).

Výstup simulace udává průměrné náklady na běh procesu 24,51 Euro. Tato částka se týká případu, kdy musí být k opravě přivolán další SMP, protože první SMP opravu montážního přípravku sám nezvládl. Důvodem nezvládnutí opravy může být buďto vypršení přidělené časové lhůty na opravu, nebo nedostatečné zkušenosti potřebné k opravě. Průměrný čas běhu procesu v daném případě odpovídá hodnotě 2 hodiny a 27 minut. Dále simulace poskytla informace o vytíženosti zaměstnanců, kde průměrně nejvytíženější je seřizovač montážních přípravků a nejvyšší průměrná doba nečinnosti je vedená u směnového mistra.

## **Klíčové ukazatele výkonnosti**

Využívání správných metrik je velice důležité nejen při realizaci stanovených cílů procesů, ale i během vyhodnocování podnikových procesů. Pro tyto účely využíváme klíčové ukazatele výkonnosti. V rámci podnikového procesu Alarm montážních přípravků jsem stanovil následující KPI: doba opravy montážního přípravku, počet osob účastnících se procesu, počet současně řešených alarmů, celkový počet řešených alarmů a efektivita řešených oprav.

### **1. Doba opravy montážního přípravku**

Doba opravy montážního prvku představuje pro společnost velice důležitý ukazatel. Montážní přípravek totiž po dobu jeho opravy nevykonává svou normovanou činnost, a tudíž v podniku vznikají náklady s tím spojené. Zmíněný ukazatel může ovlivňovat mnoho faktorů. Například lze uvést: typ poruchy, množství potřebných náhradních dílů, zkušenosti seřizovače montážních přípravků aj.

Doba opravy je získávána jako rozdíl času při odemčení alarmu seřizovačem montážních přípravků a času při stisknutí tlačítka aktivujícího alarm operátorem. Podle společnosti by tento ukazatel neměl překračovat hodnotu 2 hodin.

### **2. Počet osob účastnících se procesu**

Tento ukazatel má za standardních okolností hodnotu 5. V procesu totiž vystupuje celkem pět osob: operátor, seřizovač montážních přípravků, směnový mistr, vedoucí údržby montážních přípravků a linkový vedoucí. Nicméně složitost opravy či případné komplikace během opravy opravňují směnového mistra přiřadit na práci další seřizovače. Pro specifické případy je pak optimální hodnota stanovena směnovým mistrem na základě efektivního počtu SMP a předpokládané doby opravy.

### **3. Počet současně řešených alarmů**

Maximální množství současně řešených alarmů se úzce váže na počet přítomných SMP. Obecně můžeme říci, že společnost se tuto hodnotu snaží držet pokud možno co nejnižší. Situace, kdy počet spuštěných alarmů převyší počet dostupných seřizovačů, by totiž zapříčinila generování dalších dodatečných nákladů.

### **4. Celkový počet řešených alarmů**

Ukazatel celkový počet řešených alarmů indikuje počet vzniklých alarmů na montážních přípravcích během daného měsíce. V zájmu společnosti je samozřejmě minimalizovat vznik případných poruch na jednotlivých strojích, a tak eliminovat vznik dodatečných výrobních nákladů. Toho lze dosáhnout využíváním nejmodernější technologie a častým a pečlivým seřizováním těchto strojů.

### **5. Efektivita řešených oprav**

Efektivita řešených oprav je výkonnostní ukazatel reprezentující procentuální zastoupení interně řešených oprav vlastními zdroji vůči těm, které zahrnují využití externích zdrojů (externí náhradní díl, externí firma). Dlouhodobou snahou vedení podniku je zvyšovat podíl interně řešených oprav skrze jejich nižší časovou i finanční náročnost.

### 5.3 Transformace BPMN do Petriho sítě

Ve chvíli, kdy je původní stav procesu namodelován, lze přistoupit k jeho transformaci do časované Petriho sítě. Tento modelovací nástroj představuje velice důležitý prostředek pro analýzu procesu, a tedy i pro možnou optimalizaci. Alarm montážních přípravků reprezentuje reálný systém, kde každá událost trvá určitou stanovenou dobu. Časové hodnoty jednotlivých částí procesu poskytla společnost, odkud proces pochází, a jsou zachycené v následujícím seznamu.

- **Určení práce operátorovi** – min. 2 minuty
- **Identifikace problému** – min. 2 minuty, max. 10 minut
- **Odhad pracnosti opravy** – dobu stanovení odhadu nelze určit
- **Zjištění skladových zásob** – min. 1 minuta
- **Určení maximálního času opravy** – max. čas opravy 120 minut (standardní hodnota)
- **Přiřazení náhradního dílu ke stroji v evidenci** – min. 1 minuta
- **Implementace náhradního dílu** – min. 1 minuta, max. 60 minut
- **Výroba náhradního dílu** – min. 1 minuta, max. 60 minut
- **Komunikace s jiným oddělením** – min. 1 minuta, max. 720 minut
- **Objednání požadovaného dílu** – min. 5 minut, max. 15 minut
- **Přiřazení dalšího SMP na řešení opravy** – min. 1 minuta, max. 5 minut
- **Odemčení alarmu montážního přípravku** – min. 1 sekunda
- **Informace operátorovi o odemčení alarmu** – min. 1 minuta, max. 5 minut

Při transformaci procesního diagramu v notaci BPMN do časované Petriho sítě nahrazujeme aktivity za místa doplněné o časové hodnoty. Možné změny stavů zde reprezentují přechody. Hrany v síti jsou pak ekvivalentem spojovacích objektů používaných v BPMN. Jakmile je časovaná Petriho síť korektně namodelována podle stanovených formálních pravidel, je možné přejít k samotnému vykonání simulace. Výsledný model časované Petriho sítě se nachází v příloze A (Obr. 22).

### 5.4 Procesní analýza současného stavu

Procesní analýza podpořená vykonáním simulační funkce časovaných Petriho sítí poskytla jednoznačné výsledky. Zpomalování procesu je patrné především v oblastech řešení opravy náhradními díly z vlastních zdrojů a přiřazování dalších seřizovačů montážních přípravků k opravě stroje za běhu procesu.

Problém v první oblasti může být způsoben nedostatečnými skladovými zásobami často používaných náhradních dílů nebo časem, který seřizovač potřebuje k vyrobení nestandardního náhradního dílu. Zpomalování v oblasti přidávání SMP v průběhu opravy je pak způsobené vznikem časové prodlevy, kdy již přihlášený

SMP nemá dostatečné zkušenosti k opravě stroje a musí se tedy čekat na dalšího seřizovače.

V rámci analýzy stanovených klíčových ukazatelů jsem objevil další možnou optimalizaci procesu. Konkrétně tedy v rámci metriky věnující se počtu uživatelů vystupujících v procesu. Počet uživatelů obecně spadá do množiny vlastností, jež mají vliv na délku procesu.

## 5.5 Návrh inovací

Proces Alarm montážních přípravků je pro podnik velice důležitý, a tudíž by měl být vykonáván co nejefektivněji. Navržené inovace řeší nedostatky objevené během simulace běhu modelu původního stavu procesu transformovaného do časované Petriho sítě. Ve své podstatě tyto inovace eliminují veškeré blokace, jež se v procesu vykytují.

Návrh jednotlivých optimalizovaných variant proběhl v nástroji Enterprise Architect. Nástroj AccuProcess Modeler jsem nevyužil vzhledem k omezení funkcionality, které vyplynulo z vypršení časového limitu, kdy jej lze bezplatně využívat. Mezi další důvody mohu zahrnout i mnohem lepší popisné schopnosti Enterprise Architectu i možnost vytvářet více bazénů v jednom modelu, což mnou navrhované inovace vyžadují a AccuProcess Modeler tuto vlastnost nepodporuje.

### Inovace A

Ve společnosti, z níž modelovaný proces pochází, je oprava montážních přípravků řešena příslušnými seřizovači. Každý z nich pak umí na stroji opravit jen určité druhy závad. Tyto závady se mohou vyskytovat na více různých typech strojů.

V případě výskytu takové závady, kterou SMP neumí vyřešit, musí směnový mistr povolát dalšího seřizovače s požadovanými zkušenostmi. Nicméně analýza ukázala, že tento způsob řešení oprav se ve výsledku jeví jako značně neefektivní. Přidávání dalších SMP k řešení opravy totiž způsobuje zpomalování procesu, a tak zvyšuje náklady podniku.

V rámci optimalizace této části procesu tedy navrhuji, aby každý ze seřizovačů uměl opravit veškeré závady alespoň na třech různých typech montážních přípravků (viz příloha B). Konkrétní znalosti by měli tito pracovníci získat během dodatečného školení v podniku. Tím bude odstraněno zpomalování v případech, kdy přihlášený SMP dorazí ke stroji a zjistí, že na jeho opravu nemá dostatečné zkušenosti, a tak musí být povolán další SMP, čímž se výrazně prodlužuje doba opravy. Toto potvrzuje i upravená verze časované Petriho sítě, jež tuto inovaci zahrnuje. Po úpravě části procesu věnující se přidávání SMP k opravě již ke zpomalení nedochází.

Výhody plynoucí z inovace A jsou v první řadě úspora času a nákladů. Současně se zvýší i efektivita využívání podnikových seřizovačů při opravách. Nebude se tedy stávat, že více SMP bude vázáno k jednomu stroji, pokud si to situace nebude vyloženě vyžadovat. Nicméně tato varianta skýtá i jisté nevýhody. Nasazení inovace A vyžaduje nové proškolení pracovníků, což představuje pro podnik dodatečné

náklady. Dále také může nastat problém v případě nedostatečné kapacity pracovníků například z důvodu nemoci. V tu chvíli by se mohlo stát, že v podniku bude chybět seřizovač určitého typu stroje.

### **Inovace B**

Další problém, na který jsem během analýzy procesu narazil, se týkal oblasti řešení opravy montážního přípravku náhradními díly z vlastních zdrojů. V současnosti je oprava náhradními díly z vlastních zdrojů řešena dvěma způsoby.

První způsob zahrnuje opravu stroje takzvaným katalogovým dílem, jež by se měl vyskytovat na skladě. Slabinou této varianty je předpoklad výskytu náhradního dílu na skladě, který zde ovšem být nemusí.

Druhý způsob pak počítá se zručností daného seřizovače montážních přípravků, díky níž sám vyrobí potřebný náhradní díl. Varianta číslo dvě je tedy ve své podstatě zcela založená na dovednostech seřizovače. Výsledný čas procesu se tudíž odvíjí od doby, za kterou je schopný seřizovač montážních přípravků vyrobit daný náhradní díl.

Zde navrhuji inovaci v podobě předzásobení náhradními katalogovými díly, které jsou nejčastěji používané (viz příloha C). Konkrétní produkty lze odvodit ze záznamů společnosti vedených u jednotlivých strojů. Stejný postup navrhuji i v případě často používaných nestandardních náhradních dílů, které jsou vyráběny přímo seřizovači při opravě montážního přípravku.

Tuto inovaci jsem opět namodeloval pomocí notace BPMN i Petriho síti. V procesním diagramu je zachycen nový proces *Výroba náhradních dílů*, kde vystupuje pouze seřizovač montážních přípravků. Výroba dílu je podmíněna nedostačujícím stavem skladových zásob používaných náhradních dílů. Tento proces úspěšně končí pouze v případě, kdy je náhradní díl doplněn na sklad.

Mezi výhody inovace B se řadí i tentokrát snížení celkových časových nároků na vykonání procesu a s tím spojené snížení procesních nákladů. Výhodou je také okamžitá dostupnost často využívaných náhradních dílů. Za nevýhodu této inovace lze považovat nutnost držet na skladě určité množství náhradních dílů i v případě, kdy nejsou aktuálně vyžadovány.

### **Inovace C**

Třetí inovace procesu Alarm montážních přípravků přímo vyplývá ze stanovených ukazatelů výkonnosti. Konkrétně tedy z druhého ukazatele *Počet osob účastnících se procesu*. Snížením počtu osob vystupujících v procesu lze dosáhnout jisté úspory času i nákladů.

Další možná optimalizace procesu tedy spočívá v přesunutí činností linkového vedoucího k vedoucímu údržby montážních přípravků (viz příloha D). V podstatě se jedná pouze o rozšíření pracovních úkolů vedoucího údržby montážních přípravků v rámci skladu a zvýšení intenzity komunikace mezi ním a seřizovači montážních přípravků.

Ke snížení procesního času a nákladů by mělo dojít i v tomto případě. Dále se zvýší efektivita komunikace během opravy stroje díky snížení počtu osob vstupujících

cích do procesu. S tímto přesunem činností se ovšem pojí i jisté nevýhody. Vynechání linkového vedoucího z procesu znamená, že přijde o určitou část informací, jež by mohl potřebovat v rámci své hlavní činnosti, kdy zodpovídá za chod celé linky. Vedoucímu údržby montážních přípravků zase na druhou stranu naroste pracovní zátěž.

## 5.6 Analýza a návrh webové aplikace

Na základě konzultací se společností byl objeven nedostatek v podobě neexistence elektronického systému, který by sloužil k přehledné správě všech zdejších procesních modelů. Díky tomuto faktu jsem se dohodl se společností v rámci diplomové práce na vytvoření webové aplikace pro správu všech procesů v podniku. Přesná funkcionalita i vzhled aplikace vznikly opět v rámci konzultací.

### Formální a neformální specifikace

Z požadavků společnosti vyplynula potřeba webové aplikace pro správu všech procesních modelů v podniku, jež budou využívat specifictí manažeři a někteří další zaměstnanci. Aplikace by měla být v první řadě dostupná, intuitivní, uživatelsky přívětivá a stabilní. Hlavním účelem webové aplikace je tedy správa procesů v podniku. Nicméně, aby byl systém správy procesů přehlednější, musí aplikace umožňovat i vytváření jednotlivých částí struktury podniku. Důraz při samotné tvorbě bude kladen mimo jiné i na minimalizaci nákladů na implementaci a provozních nákladů po nasazení.

Potenciální data, která má aplikace obsahovat jsou ve společnosti brána jako velice citlivá, proto je nutné aplikaci korektně zabezpečit. K tomu ve značné míře poslouží systém zajišťující autentizaci a autorizaci uživatelů, což omezí přístup k citlivým datům pouze na oprávněné uživatele. V seznamu přístupových práv (Access Control List, ACL) budou rozlišovány celkem čtyři uživatelské role – **administrátor, manažer, zaměstnanec a host**.

Uživatelská práva administrátora by měla být nastavena tak, aby poskytovala neomezený přístup po celé aplikaci. Uživatelům s manažerskou rolí je dovoleno zobrazovat jednotlivé procesy a modifikovat strukturu aplikace (vytváření divizí, linek apod.). Zaměstnanec může se svými právy pracovat jen s přehledy dostupných procesů. Roli s nejmenšími právy v aplikaci pak představuje host. Ten má přístup pouze na domovskou stránku s obecnými informacemi a k přihlašování.

Aplikace bude v rámci své funkcionality umožňovat práci se třemi primárními moduly. Mezi tyto hlavní moduly patří:

- **Přehled procesů** – předkládá uživateli jednotlivé aktuálně dostupné procesy či jejich předešlé verze v rámci podnikové struktury.
- **Správa struktury** – slouží k vytváření, editaci i mazání divizí, linek, procesů a jejich dostupných verzí.
- **Správa uživatelů** – představuje modul pro vytváření a modifikaci uživatelských účtů využívaných v aplikaci.

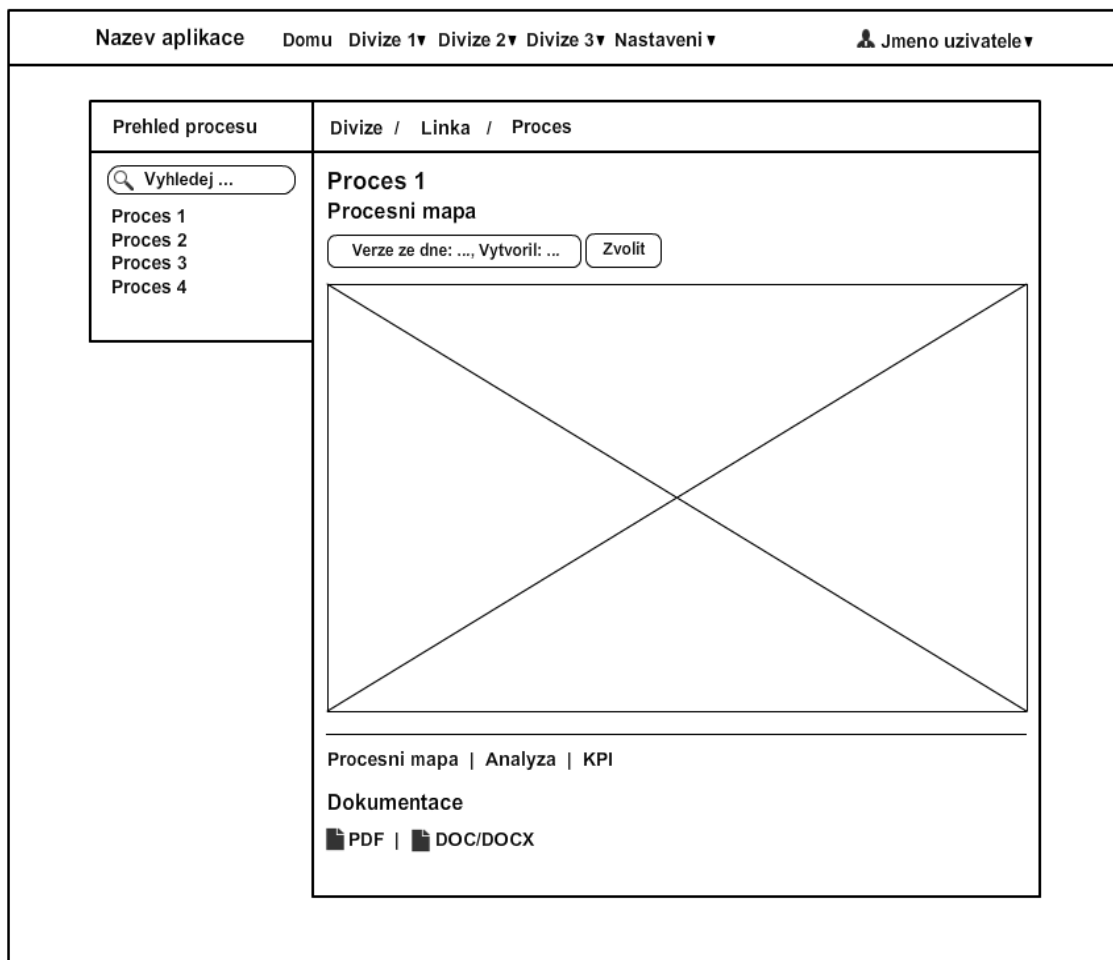
## Uživatelské rozhraní

Uživatelské rozhraní (Obr. 12) navrhované aplikace se skládá ze tří hlavních částí.

První část představuje záhlaví. To je tvořeno názvem aplikace a hlavními sekcemi. V případě, kdy je uživatel přihlášen do systému, se zde nachází i rychlá navigace, která umožňuje přechod na profil uživatele, změnu hesla či odhlášení. Pokud uživatel není přihlášen do systému, pak záhlaví obsahuje pouze název aplikace, sekci odkazující na úvodní stránku (Domů) a odkaz na přihlašovací formulář.

Druhou částí je postranní navigace. V této části se na základě uživatelem zvolené hlavní sekce nachází buďto jednotlivé podsekcce nebo akce pro správu aplikace. Součástí postranní navigace je i pole určené k vyhledávání položek v dané podsekcce.

Poslední část pak tvoří oblast, jež vykresluje hlavní obsah aktivní podsekcce. Zde se zobrazují veškeré informace obsažené v dané podsekcce. Ke zvýšení přehlednosti celé aplikace je v této části umístěna i drobečková navigace.

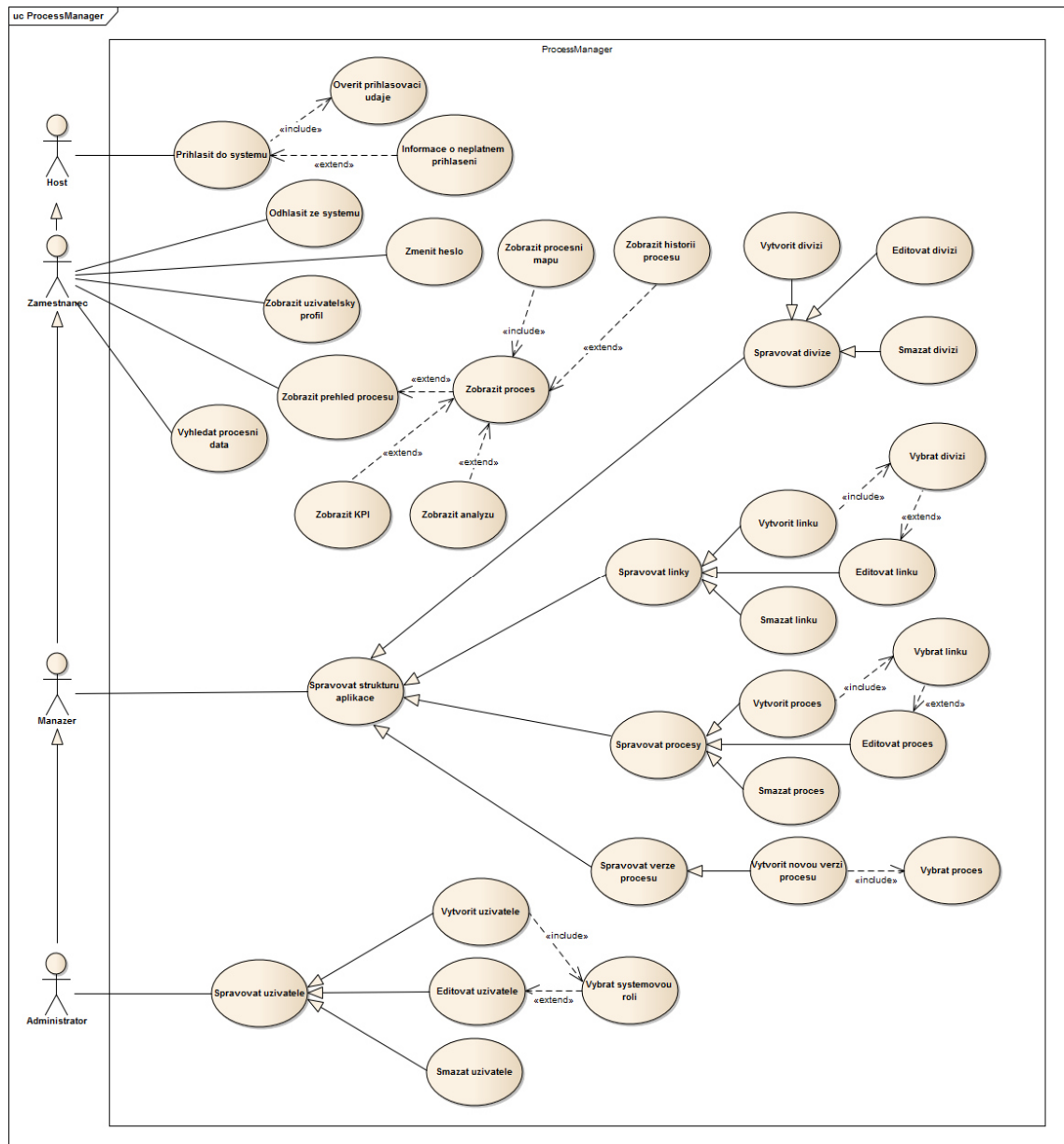


Obr. 12 Návrh uživatelského rozhraní pro prezentaci procesů



## Diagram případů užití

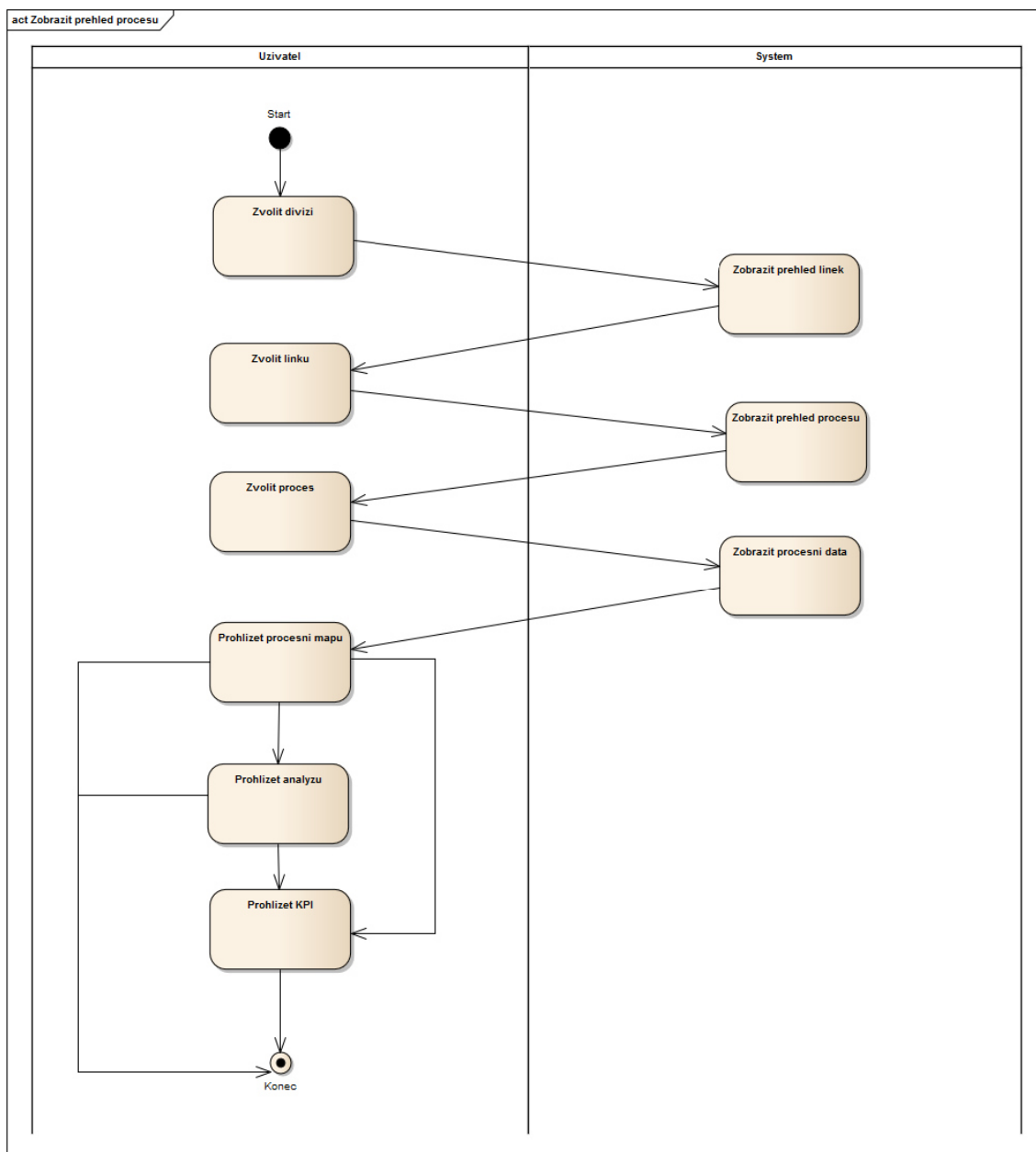
Diagram případů užití (Use case diagram, Obr. 13) zachycuje funkcionalitu navrhované aplikace pro správu procesů, kterou uživatelé mohou využívat. Aktéři v diagramu reprezentují uživatelské role definované v předchozí části. Reálně si lze pod těmito aktéry představit například vedení společnosti (administrátor), lean manažera (manažer), procesního analytika (manažer), linkového vedoucího (zaměstnanec) či směnového mistra (zaměstnanec).



Obr. 13 Diagram případů užití

## Diagram aktivit

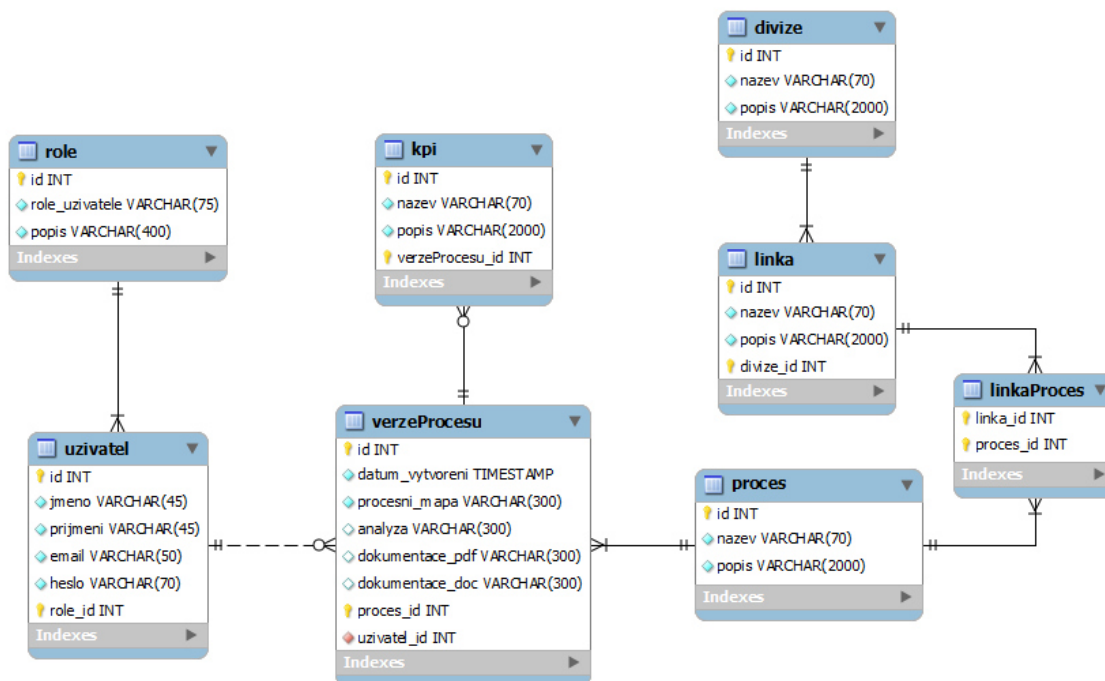
Diagram aktivit (Obr. 14) pro případ užití *Zobrazit přehled procesů* obsahuje celkem devět aktivit. Jedná se o specifické aktivity, které musí uživatel vykonat, pokud si chce prohlížet procesní data uložená v aplikaci. Pro větší přehlednost je diagram rozdělen do dvou plavečkových drah. Tyto dráhy definují vykonavatele konkrétní aktivity.



Obr. 14 Diagram aktivit případu užití Zobrazit přehled procesů

## Entitně relační diagram

Entitně relační diagram (Entity-relationship diagram, ERD) reprezentuje datový model aplikace pro správu procesů. Diagram je tvořen entitami, jejich atributy a vazbami mezi nimi. Vazby dále určuje jejich kardinalita a parcialita. V ERD navrhované aplikace ProcessManager se vyskytuje celkem osm entit. Tyto entity jsou uživatel, role, divize, linka, linka-proces, proces, verze procesu a kpi (Obr. 15).



Obr. 15 Entitně relační diagram

Datový model je koncipován tak, aby kopíroval organizační strukturu společnosti. Tudíž divize jsou složeny z linek a linky sestávají z procesů. Vzhledem k faktu, že daný proces se může vyskytovat na více linkách i linky mohou mít více procesů, je dekompozice vazby M:N řešená prostřednictvím entity linka-proces. U každého procesu evidujeme všechny jeho verze s potřebnými náležitostmi. Entita KPI vznikla díky možnosti vytváření neomezeného počtu těchto ukazatelů pro danou verzi procesu. Uživatel má přiřazenou roli a je evidován u jím vytvořených verzí procesů.

## 5.7 Implementace webové aplikace

K implementaci webové aplikace ProcessManager jsem se rozhodl použít open source PHP framework Nette. Softwarová architektura aplikace tudíž odpovídá návrhovému vzoru MVP. *Model* obstarává komunikaci s použitým databázovým systémem MySQL. Tato komunikace probíhá skrze klasické SQL příkazy insert, update, select a delete. *Pohled* neboli *View* zpracovává uživatelský vstup a generuje

výsledky požadavků od uživatele. V Nette tuto část zprostředkovává šablonovací systém `Latte`. Aplikační a prezentační logika je v návrhovém vzoru MVP umístěna v *Presenteru*. Presenter pracuje jak s modelem, tak i s pohledem (zajišťuje aktualizaci pohledu). Přehled všech presenterů využívaných v aplikaci je patrný z následujícího seznamu.

- **AccessPresenter** – zajišťuje bezpečnost aplikace na základě ACL. Dědí od něj všechny presentery, u kterých je vyžadován omezený přístup.
- **BasePresenter** – původní součást Nette Frameworku (potomek třídy `Nette\Application\UI\Presenter`).
- **DivizePresenter** – obstarává funkcionalitu v části věnující se prezentaci dostupných procesních modelů.
- **ErrorPresenter** – původní součást Nette Frameworku (zajišťuje odchytní chyby s kódy 403, 404, 405, 410, 500).
- **HomepagePresenter** – zahrnuje domovskou stránku i uživatelský profil.
- **NastaveniPresenter** – zajišťuje přehlednou správu divizí, linek, procesů a jejich verzí.
- **SignPresenter** – původní součást Nette Frameworku (zajišťuje rozhraní pro přihlášení do aplikace).
- **UzivatelPresenter** – slouží ke správě uživatelů.

V rámci tvorby webové aplikace jsem musel vyřešit i klíčovou oblast jejího zabezpečení. K přístupu do aplikace je proto vyžadována správná kombinace uživatelského e-mailu a hesla (autentizace). Následné akce uživatele jsou podmíněny nastavenými právy, jež se vážou k obdržené identitě daného uživatele (autorizace).

Nastavení přístupových práv v Nette vyžaduje definici 3 parametrů: *Role* (administrátor, manažer, zaměstnanec, host), *Zdroje* (např. Nastavení) a *Operace* (např. změna hesla). Evidenci vytvořených přístupových práv pak obstarává statické ACL.

Pro přístup do aplikace `ProcessManager`, která je dostupná na doméně **www.processmanager.php5.cz**, jsem vytvořil několik testovacích uživatelských účtů. Tyto účty pokrývají všechny role vyskytující se v aplikaci a jsou uvedené v tabulce 4.

Tab. 4 Přihlašovací údaje do aplikace `ProcessManager`

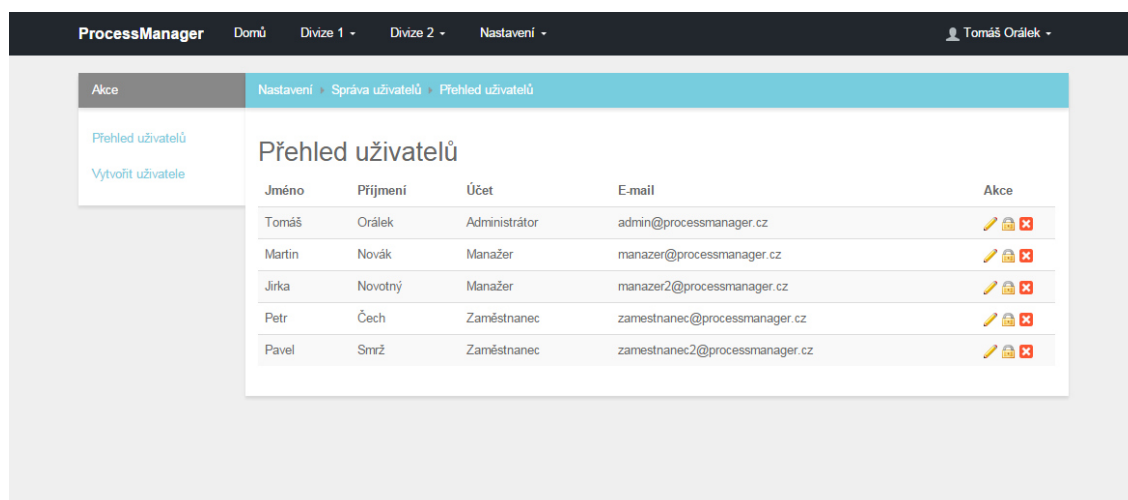
Role	E-mail	Heslo
Administrátor	admin@processmanager.cz	adminadmin1
Manažer	manazer@processmanager.cz	manazermanazer1
Zaměstnanec	zamestnanec@processmanager.cz	zamestnaneczamestnanec1

## Struktura aplikace

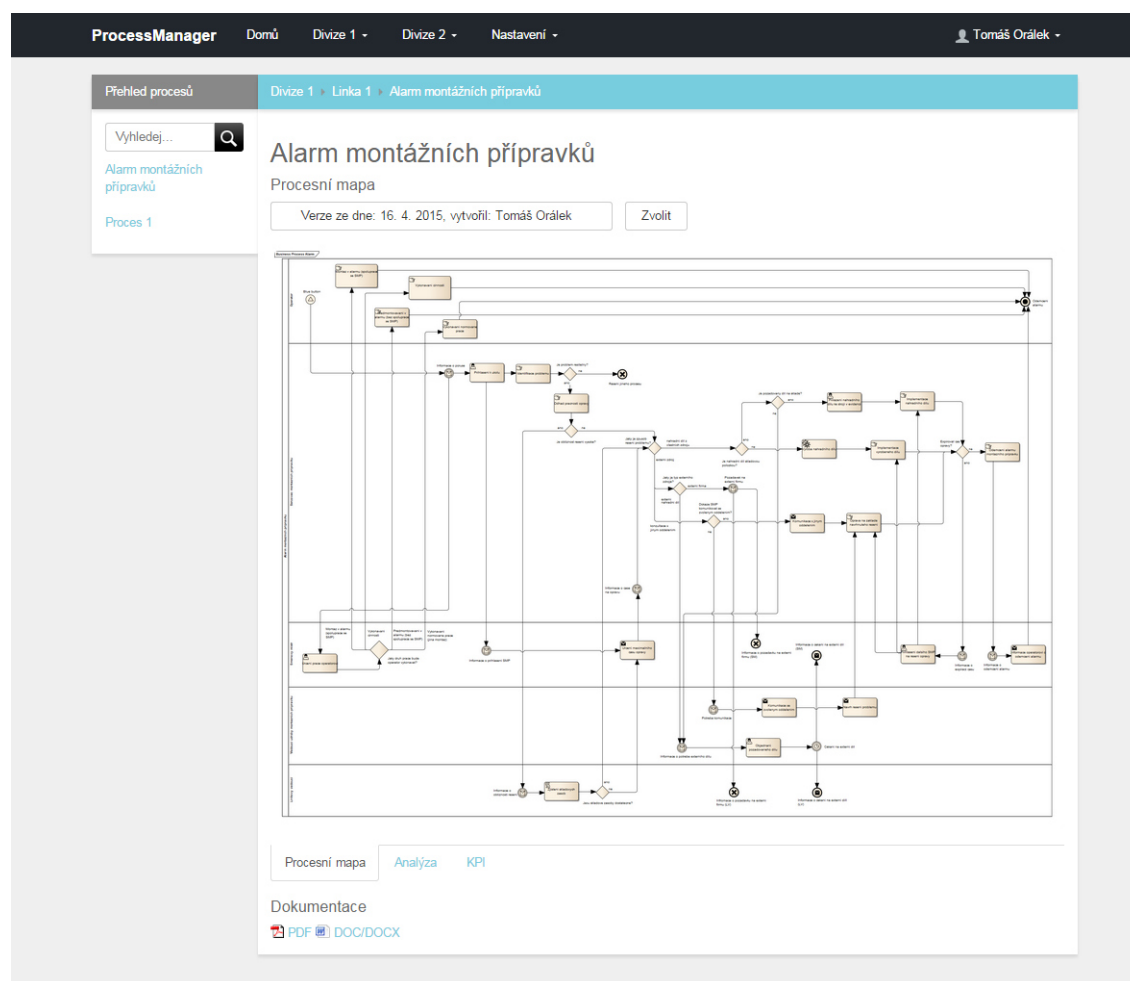
Aplikace ProcessManager (Obr. 16 a Obr. 17) je navržena tak, aby specifické části její struktury mohly být dynamicky měněny v závislosti na požadavcích společnosti. Pevné místo v této struktuře mají pouze bloky *Domů* a *Nastavení*. Dynamicky se pak dají měnit části reprezentující *Divize*, *Linky* a *Procesy*. V rámci zabezpečení je přístup do jednotlivých sekcí omezen na základě ACL. Struktura aplikace obsahuje následující bloky a jejich součásti:

- **Domů**
- **Divize**
  - Linka
    - Proces
- **Nastavení**
  - Správa aplikace
    - Divize
    - Linky
    - Procesy
  - Správa uživatelů
    - Přehled uživatelů
    - Vytvořit uživatele

Část *Nastavení* jak vyplývá z jejího názvu, slouží k modifikaci určitých vlastností aplikace. Tato sekce se dále dělí na *Správu aplikace* a *Správu uživatelů*. Obě zmíněné podkategorie pak zpřístupňují akce nutné pro správu jako vytváření, editaci či mazání.



Obr. 16 Výpis registrovaných uživatelů



Obr. 17 Prezentace procesu Alarm montážních přípravků v aplikaci ProcessManager

## 5.8 Přínosy aplikace

Webová aplikace ProcessManager pro správu procesů byla vytvořena na popud společnosti, která aplikaci s touto funkcionalitou postrádala. Návrh a implementace proběhly na základě specifických požadavků, které posloužili k zajištění maximální spokojenosti s funkcionalitou i vzhledem ze strany zadavatele.

Konkrétní přínosy spojené s používáním aplikace můžeme charakterizovat jako nekvantifikovatelné. Sami o sobě totiž slouží především ke zlepšení pracovního prostředí zaměstnanců, jejichž pracovní činnost nějakým způsobem souvisí se správou podnikových procesů. Aplikace ProcessManager zavádí do podniku elektronickou evidenci procesů, což mimo jiné zvyšuje dostupnost jednotlivých dat a zároveň usnadňuje jejich archivaci. Tato aplikace nalezne své uplatnění i během provádění auditu podnikových procesů.

Náklady spojené s provozem aplikace budou minimalizovány vzhledem k existenci podnikového serveru, který bude využíván k jejímu provozu. O ostatních nákladech, jako například nákladech na modernizaci výpočetní techniky neuvažujeme, protože se jedná o webovou aplikaci, jež není hardwarově omezená.

### **Přínosy aplikace**

- Optimální pracovní podmínky
- Jednodušší přístup k procesům odkudkoli na světě
- Přehlednější prezentace všech procesů v podniku
- Snadnější přístup k historii procesních map a ostatním datům (dokumentace, analýzy, KPI aj.)
- Větší bezpečnost v oblasti přístupu k jednotlivým procesním modelům

### **Náklady na provoz aplikace**

Náklady vážící se k implementaci a provozu aplikace v podniku, jak již bylo zmíněno výše, nebudou nikterak velké. Nicméně i tak se zde v určité výši vyskytnou. V podstatě lze uvažovat o nákladech na zavedení, nákladech na provoz a údržbu a nákladech na proškolení budoucích uživatelů.

- **Náklady na zavedení** – spočívají v zakoupení hostingu a domény, na které bude aplikace dostupná. Podnik ovšem vlastní server, na kterém lze aplikaci provozovat, tudíž náklady na zavedení se omezí pouze na činnosti kopírování zdrojových kódů na server, tvorbu databáze a úpravu databázových parametrů v konfiguračním souboru. To vše ale může provést správce podnikového serveru v rámci své pracovní náplně. Hrubá mzda tohoto zaměstnance je 14 Euro/1 hod. Doba nutná na samotnou implementaci aplikace v podniku by neměla přesáhnout 60 minut.
- **Náklady na provoz a údržbu** – představují náklady na provoz aplikace na serveru, náklady na doménu a případně tedy i náklady na úpravu aplikace při rozšiřování její funkcionality či zálohování dat. Tuto činnost však opět může provádět zmíněný technický pracovník, čímž dojde k minimalizaci těchto nákladů.
- **Náklady na proškolení budoucích uživatelů** – obvykle zahrnují náklady spojené s dobou nutnou k dostatečnému proškolení zaměstnanců a se zajištěním kvalifikovaného školitele. Ovládání aplikace ProcessManager je velice intuitivní, a tak rozsáhlejší školení není vyžadováno. Nicméně v případě potřeby by dané nesrovnalosti mohly být řešeny v rámci konzultací mezi mnou a společností. Náklady spojené s těmito konzultacemi se mohou pohybovat kolem částky 150 Kč/1 hod.

## 5.9 Implementace řešení v podniku

Ve chvíli, kdy jsou všechny požadavky na řešení splněny, je možné přistoupit k jejich implementaci v podniku. Vedení společnosti se rozhodlo na základě předložených optimalizovaných variant procesu Alarm montážních přípravků zvolit k zavedení inovaci A. Jedná se o inovaci řešící problém zpomalování procesu při přidávání dalších seřizovačů montážních přípravků směnovým mistrem během již realizované opravy.

Na základě konzultací spojených s tímto řešením byl vytvořen plán jak dosáhnout navržené optimalizace. Jednotliví seřizovači v rámci plánu podstoupí sérii školení tak, aby byli do budoucna schopní opravit veškeré závady na jim přidělených strojích. Konkrétně tedy každý seřizovač montážních přípravků bude mít na starost celkem tři různé stroje ve výrobní lince. O těchto strojích pak seřizovač musí mít kompletní přehled.

Pracovníci společnosti si také vyzkoušeli funkcionalitu aplikace ProcessManager. Ta podle jejich vyjádření odpovídá zadaným požadavkům. Vedení společnosti v současné době plánuje zavedení jednotné metodiky pro popis všech podnikových procesů. V rámci těchto plánů se počítá i s využitím vytvořené aplikace ProcessManager k jejich elektronické evidenci.



## 6 Diskuse

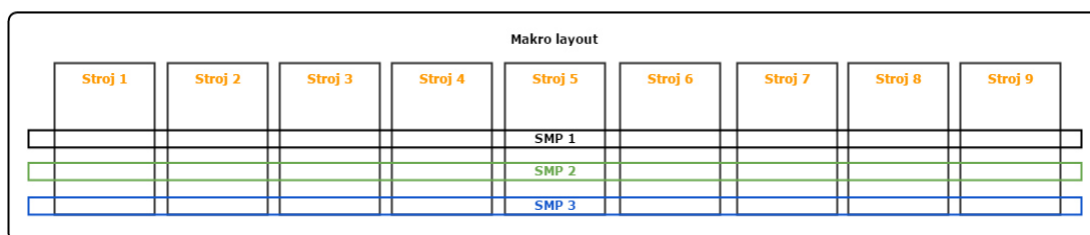
Modelování původního stavu procesu z oblasti výroby i jeho inovací probíhalo prostřednictvím notace BPMN. Využití BPMN zaručilo především značnou přehlednost z hlediska výrobních procesů v podniku. Takto namodelované procesy jsou pak úspěšně využívány například i během procesu zeštíhlování výroby. Přehledně namodelované procesy mají svůj velký význam i při provádění interních a externích procesních auditů.

Mezi výhody notace BPMN patří v první řadě schopnost zachytit detail a dynamiku procesu. Další již zmíněnou výhodou je vysoká přehlednost vytvořených procesních diagramů. Ve své podstatě omezení využití BPMN spočívá pouze v rozsáhlosti modelovaných procesů. Notace sice umožňuje modelování rozsáhlejších procesů, nicméně přitom dochází k určité ztrátě jejich přehlednosti. Přehlednost je ovšem při modelování procesů velice důležitá, a to zejména proto, že potenciální vykonavatelé přehledný proces lépe pochopí a jedině tehdy jej mohou efektivně vykonávat.

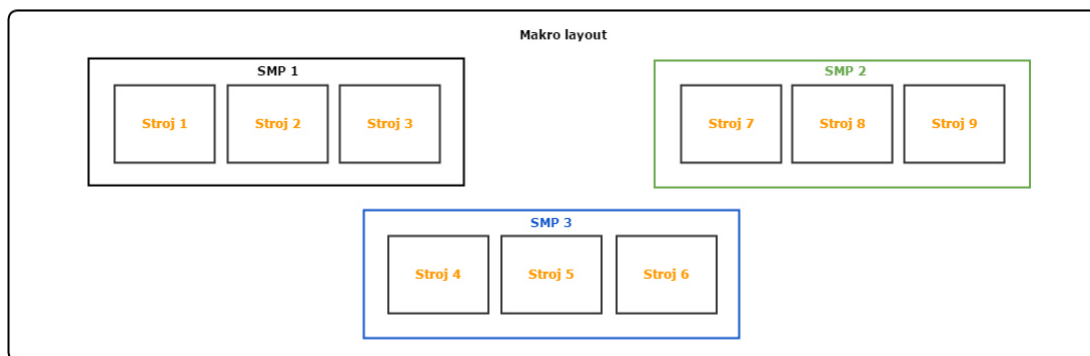
Z uvedeného tedy vyplývá, že zavádění BPMN do výrobních linek je do určité míry výhodné, a proto jsem využití této notace vedení podniku doporučil. Rovněž jsem vedení podniku doporučil využití kombinace BPMN a Petriho sítí při analýze procesů, což se osvědčilo v rámci této práce.

Aplikací technik procesní analýzy a optimalizace na podnikový proces Alarm montážních přípravků dalo vzniknout celkem třem inovacím řešícím nedostatky, jež byly v procesu analýzou objeveny. Společnost vlastníci modelovaný proces si z předložených inovací vybrala k zavedení inovaci A, jak jsem již zmínil v části Implementace řešení v podniku.

Inovace optimalizuje způsob řešení opravy montážních přípravků jednotlivými seřizovači. Zavedením inovace v podniku ovšem dojde také ke změně struktury makro layoutů (Obr. 18 a Obr. 19), které reprezentují vazby mezi seřizovači a montážními přípravky.



Obr. 18 Makro layout (původní stav)



Obr. 19 Makro layout (inovace A)

Nicméně hlavní a bezespornou výhodou zavedení této inovace je výrazné zkrácení procesního času, a tudíž i snížení nákladů v závislosti na vyšší efektivitě seřizovači prováděných oprav. Zkrácení času bylo dokázáno vykonáním simulace časované Petriho sítě na modifikovaném modelu zahrnujícím tuto inovaci.

## 7 Závěr

Cílem diplomové práce bylo namodelovat, zanalyzovat a optimalizovat vytyčený podnikový proces Alarm montážních přípravků z oblasti výroby ve středně velké společnosti. Nejprve jsem namodeloval původní stav procesu v notaci BPMN. Poté přišla na řadu důkladná procesní analýza prostřednictvím simulační funkce časovaných Petriho sítí a metody stanovení klíčových ukazatelů výkonnosti.

Na základě výstupů uskutečněné procesní analýzy původního stavu procesu, jsem mohl přistoupit k návrhu jednotlivých inovací. Dílčím cílem práce byla také realizace webové aplikace pro správu všech procesů v podniku.

Pro větší přehlednost této práce došlo k jejímu rozdělení na dvě hlavní obsahové části – teoretickou a praktickou. V teoretické části byla důkladně rozebrána problematika procesního řízení s důrazem kladeným zejména na definici procesu, klíčové ukazatele výkonnosti, procesní modelování, procesní analýzu a procesní optimalizaci.

Dále jsem popsal notace BPMN a Eriksson-Penker určené k modelování podnikových procesů. Z jejich následného srovnání vyplývají důvody volby BPMN pro účely procesního modelování v této práci. V rámci modelovacích nástrojů jsou popsány také specifické druhy Petriho sítí a jejich výhody i nevýhody. Druhá polovina teoretické části se zaměřuje na jednotlivé technologie, využívané při tvorbě webových aplikací a softwarové nástroje, jež slouží k modelování procesů.

Úvod praktické části je věnován představení společnosti, z níž proces Alarm montážních přípravků pochází. Poté jsem se již soustředil na modelování vytyčeného procesu. Procesní model původního stavu procesu, jeho popis i definice klíčových ukazatelů výkonnosti vznikly na základě odborných konzultací s odpovědnými pracovníky společnosti. Součástí této fáze byla i simulace procesních nákladů v nástroji AccuProcess Modeler, jež poskytla další důležité informace o procesu.

K provedení důkladné analýzy bylo dále potřeba transformovat vytvořený procesní model v notaci BPMN do časované Petriho sítě. Simulační funkce vytvořené Petriho sítě poskytla velice konkrétní informace o místech v procesu, kde dochází ke zpomalování. Současně bylo nutné podrobit analýze také stanovené ukazatele výkonnosti i zmíněný výstup simulace procesních nákladů.

Z výstupů analýzy následně vzešly celkem tři inovace zvyšující efektivitu procesu, které jsem namodeloval v nástroji Enterprise Architect. Kritériem pro optimalizaci bylo snížení procesního času a procesních nákladů z pohledu lean managementu.

První inovace cílí na neefektivní postup přiřazování seřizovačů montážních přípravků k již běžící opravě porouchaného stroje. Každý seřizovač umí opravit pouze určité druhy závad na stroji. Tyto specifické závady se mohou vyskytovat na více strojích. Problém nastává ve chvíli, kdy se SMP přihlásí k opravě stroje a během diagnostiky poruchy zjistí, že nemá dostatečné znalosti k jejímu odstranění. V tento moment dochází k časové prodlevě, než dorazí jiný SMP s potřebnými znalostmi. Inovace tedy spočívá ve změně zavedeného způsobu řešení oprav. Každ-

dý seřizovač již nebude řešit pouze specifické poruchy, ale bude mít na starosti opravu všech poruch, a to celkem na třech různých strojích. Zavedení této inovace si vyžádá dodatečná školení zaměstnanců podniku a dále i změnu struktury využívaných makro layoutů (viz část Diskuse).

Další inovace řeší zpomalování procesu v případě opravy porouchaného stroje náhradními díly z vlastních zdrojů. K tomuto zpomalování dochází v situaci, kdy takzvané katalogové díly nejsou skladem nebo je potřeba požadovaný díl vyrobit z dostupných zdrojů v podniku. Princip této inovace se zakládá na předzásobení skladu často využívanými díly. Konkrétní díly můžeme odvodit ze záznamů vedených u jednotlivých montážních přípravků.

Třetí navrhovaná inovace přímo vyplývá ze stanovených metrik výkonnosti. Přesněji tedy z metriky *Počet osob účastnících se procesu*. Přesunem činností linkového vedoucího k vedoucímu údržby montážních přípravků dojde k vyloučení linkového vedoucího z procesu. Menší počet osob vstupujících do procesu ve výsledku znamená úsporu procesního času i procesních nákladů. Zavedení třetí inovace si vyžádá pouze jisté organizační změny.

Výhodou všech tří navržených inovací je snížení času nutného pro běh procesu, a tudíž i nákladů s tím spojených. Vedení společnosti se rozhodlo z předložených optimalizovaných variant procesu Alarm montážních přípravků zavést inovaci řešící problém s přidáváním SMP. K zavedení této inovace již byl ve společnosti vypracován plán.

Podstatnou součástí práce byla také tvorba webové aplikace pro správu všech procesů v podniku. Samotné implementaci předcházely dvě důležité fáze – analýza požadavků a podrobný návrh funkcionality. Výsledná podoba aplikace ProcessManager přesně vychází z nastíněných požadavků, a tak nedisponuje žádnou přebytečnou funkcionalitou. Webová aplikace ProcessManager byla implementována pomocí PHP frameworku Nette. Mezi další použité technologie se řadí databázový systém MySQL, jazyk HTML a kaskádové styly obstarávající vzhled aplikace.

Jakmile byla aplikace hotová, přišlo na řadu její testování. To spočívalo v ověření celkové funkcionality aplikace skrze testovací data. Úspěšný průběh testování potvrdil, že aplikace ProcessManager je připravená na reálný provoz.

Na základě uvedených postupů a výsledků, kterých jsem v rámci práce s vytyčeným procesem i aplikací ProcessManager dosáhl, se domnívám, že stanovený cíl práce byl úspěšně splněn.

## 8 Literatura

- ACCUPROCESS, INC. *AccuProcess Modeler 3.2 – User Guide* [online]. 2014 [cit. 2015-03-23]. Dostupné z:  
<https://accuprocess.com/documentation/AccuProcessModelerUG.pdf>.
- ACCUPROCESS, INC. *Business Process Modeling Software by AccuProcess* [online]. 2015 [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: <https://accuprocess.com/>.
- ALLWEYER, T. *BPMN 2.0: Introduction to the standard for business process modeling*. Norderstedt: Books on Demand, 2010. 153 s. ISBN 978-3-8391-4985-0.
- BIEGLER, L. T. *Nonlinear Programming: Concepts, Algorithms, and Applications to Chemical Processes*. USA: SIAM, 2010. 416 s. ISBN 978-0-89871-702-0.
- BROCKE, J., ROSEMAN, M. *Handbook on Business Process Management 1: Introduction, Methods, and Information Systems*. 2. vyd. Berlín: Springer, 2010. 727 s. ISBN 978-3-64200-415-5.
- CADLE, J., EVA, M., HINDLE, K. et al. *Business Analysis*. 3. vyd. USA: BCS, 2014. 308 s. ISBN 978-1-78017-277-4.
- CONGER, S. *Process Mapping and Management*. New York: Business Expert, 2011. 486 s. ISBN 978-1-60649-129-4.
- DONG, J. S., ZHU, H. *Formal Methods and Software Engineering*. Berlín: Springer, 2010. 712 s. ISBN 978-3-642-16900-7.
- DORDA, M. *Úvod do Petriho sítí* [online]. 2010 [cit. 2014-08-07]. Dostupné z:  
[http://homel.vsb.cz/~dor028/Nekonvenční\\_metody\\_1.pdf](http://homel.vsb.cz/~dor028/Nekonvenční_metody_1.pdf).
- DORDA, M., HRADIL, M., MÝDLO, L. *Simulace technologických systémů a procesů* [online]. 2012 [cit. 2015-01-30]. Dostupné z:  
[http://issuu.com/michdor/docs/m15\\_text](http://issuu.com/michdor/docs/m15_text).
- DUBOIS, P. *MySQL*. 5. vyd. USA: Addison-Wesley Professional, 2013. 1176 s. ISBN 978-0-321-83387-7.
- DUMAS, M., LA ROSA, M., MENDLING, J., REIJERS, H. *Fundamentals of Business Process Management*. Berlín: Springer, 2013. 426 s. ISBN 978-3-642-33142-8.
- ERIKSSON, H. E., PENKER, M. *Business Modeling with UML: Business Patterns at Work*. 1. vyd. USA: Wiley, 2000. 459 s. ISBN 978-0471295518.
- GENTER, GORAN. *Petri .NET Simulator 2.0 – User's Manual* [online]. 2004 [cit. 2015-03-23]. Dostupné z:  
<https://dl.dropboxusercontent.com/u/17130051/Petri%20.NET%20Simulator%202.0/Petri%20.NET%20Simulator%202.0.1700.0%20Manual.pdf>.
- GRASSEOVÁ, M. a kol. *Procesní řízení ve veřejném sektoru*. Brno: Computer Press, 2008. 272 s. ISBN 978-80-251-1987-7.

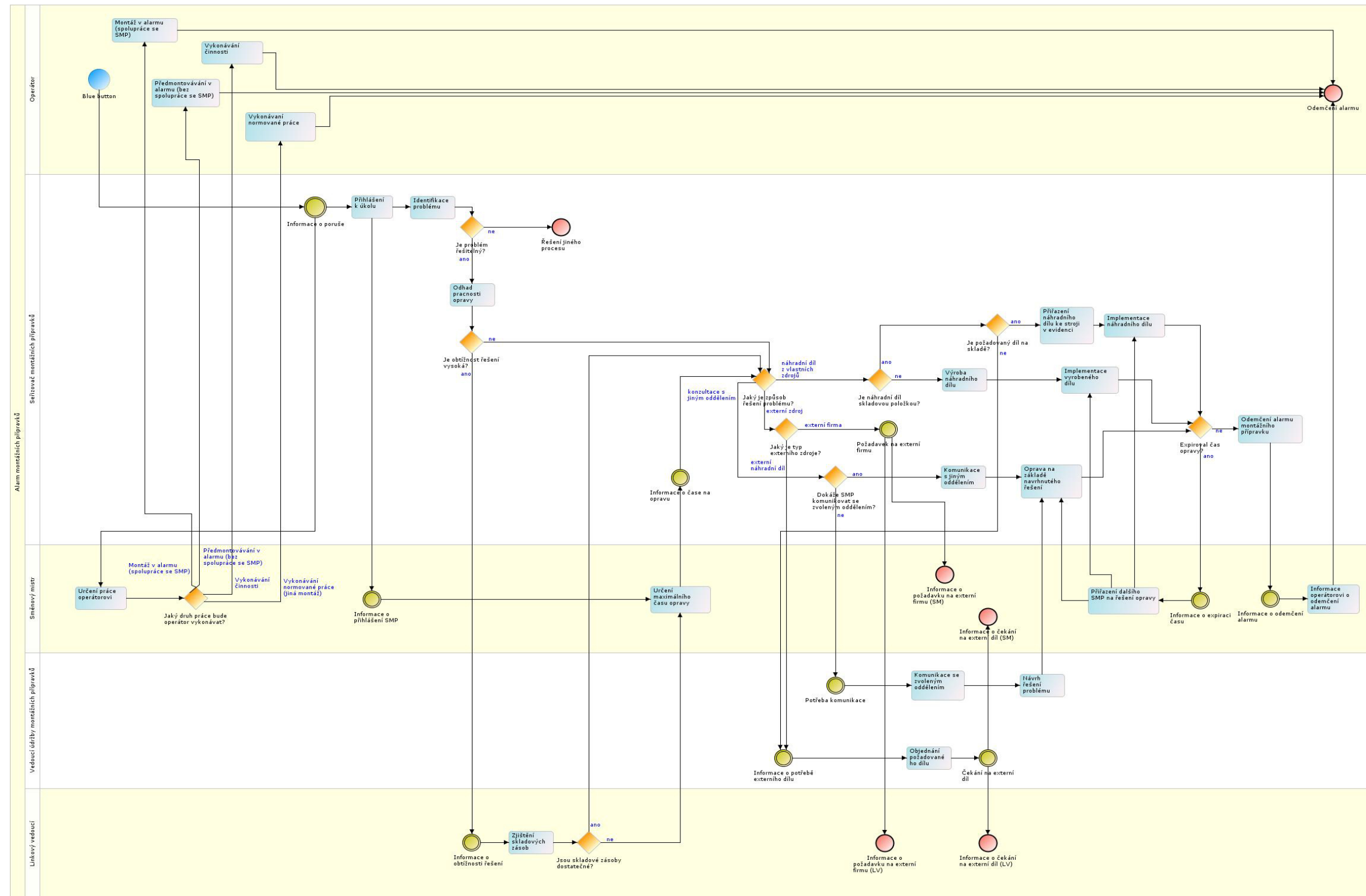
- GUASCH, A., NARCISO, M., PIERA, M. A. *A modeling and simulation approach: Towards true manufacturing flexibility* [online]. 2002, 6 s [cit. 2015-01-30]. Dostupné z: <http://www.nt.ntnu.no/users/skoge/prost/proceedings/ifac2002/data/content/02792/2792.pdf>.
- HARRINGTON, H. J., ESSELING, K. C. a NIMWEGEN, H. V. *Business Process Improvement Workbook*. 1. vyd. USA: McGraw Hill Professional, 1997. 314 s. ISBN 978-0070267794.
- JEDLIČKA, P. *Přednášky k předmětu Informační systémy (projektování)*. Ústav informatiky, PEF, Mendelova univerzita, 2010.
- KOCMANOVÁ, A., HŘEBÍČEK, J. a kol. *Měření podnikové výkonnosti*. 1. vyd. Brno: Littera, 2013. 252 s. ISBN 978-80-85763-77-5.
- KUCHAŘ, Š. *Modelování podnikových procesů* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011 [cit. 2014-07-14]. Dostupné z: [http://homel.vsb.cz/~kuc275/vyuka/mbm/pred/03\\_ModelovaniPodnikovyhProcesu.pdf](http://homel.vsb.cz/~kuc275/vyuka/mbm/pred/03_ModelovaniPodnikovyhProcesu.pdf).
- LUKASÍK, P., PROCHÁZKA, J., VANĚK, V. *Procesní řízení* [online]. Ostrava: Ostravská univerzita, 2007 [cit. 2014-07-14]. 90 s. Dostupné z: [http://www1.osu.cz/~prochazka/rpri/skripta\\_ProcesniRizeni.pdf](http://www1.osu.cz/~prochazka/rpri/skripta_ProcesniRizeni.pdf).
- MANAGEMENT MANIA. *Analýza procesů (procesní analýza)* [online]. 2013 [cit. 2014-07-13]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/analyza-procesu-procesni-analyza>.
- MARKL, J. *Petriho síť: Úvod - neformální výklad* [online]. 2006 [cit. 2014-09-09]. Dostupné z: <http://www.cs.vsb.cz/markl/pn/data/NNPN1.pdf>.
- MIŠOVIČ, M. *Přednášky k předmětu Softwarové inženýrství I*. Ústav informatiky, PEF, Mendelova univerzita, 2013.
- MYSQL DOCUMENTATION. *MySQL Reference Manuals* [online]. 2015 [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://dev.mysql.com/doc/>.
- NETTE FOUNDATION. *Rychlý a pohodlný vývoj webových aplikací v PHP* [online]. 2015 [cit. 2015-01-30]. Dostupné z: <http://nette.org/>.
- NIEDERMAN, F., RADESCHUTZ, S., MITSCHNAG, B. *Deep Business Optimization: A Platform for Automated Process Optimization* [online]. 2010 [cit. 2015-01-27]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.416.9976&rep=rep1&type=pdf#page=185>.
- OBJECT MANAGEMENT GROUP. *Business Process Model and Notation (BPMN)* [online]. 2013 [cit. 2015-01-23]. Dostupné z: <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0.2/PDF/>.
- PARMENTER, D. *Key Performance Indicators: Developing, Implementing, and Using Winning KPIs*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2007. 256 s. ISBN 978-0-470-09588-1.

- PHP GROUP. *PHP: History of PHP - Manual* [online]. 2001-2015 [cit. 2015-01-31]. Dostupné z: <http://php.net/manual/en/history.php.php>.
- PROCHÁZKA, D. *PHP 6: začínáme programovat*. Praha: Grada, 2012. 192 s. ISBN 978-80-247-3899-4.
- RÁBOVÁ, I. *Přednášky k předmětu Informační systémy (projektování)*. Ústav informatiky, PEF, Mendelova univerzita, 2014.
- RÁBOVÁ, I., JEDLIČKA, P. *Využití UML a Petriho sítí pro optimalizaci podnikových workflow*. In: *Metódy modelovania a analýzy dát v informačných systémoch*. 1. vyd. Edícia Prírodovedec, č. 488. Nitra: Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, 2011. 208 s. ISBN 978-80-558-0034-9.
- ŘEPA, V. *Podnikové procesy: procesní řízení a modelování*. 2. vyd. Praha: Grada, 2007. 281 s. Management v informační společnosti. ISBN 978-80-247-2252-8.
- ŘEPA, V. *Procesně řízená organizace*. Praha: Grada, 2012. 304 s. Management v informační společnosti. ISBN 978-80-247-4128-4.
- SATYANARAYANA, J. *Managing Transformation: Objectives to Outcomes*. New Delhi: PHI, 2012. 312 s. ISBN 978-81-203-4537-9.
- SEFERLIS, P., GEORGIADIS, M. C. *The Integration of Process Design and Control*. 1. vyd. Londýn: Elsevier, 2004. 654 s. ISBN 0-444-51557-7.
- SCHICK, P. *Statistical Engineering: For efficient optimization of products and processes*. Kolín nad Rýnem: Schick, 2014. 156 s. ISBN 978-3-00048-325-7.
- SPARX SYSTEMS. *Enterprise Architect User Guide* [online]. 2014 [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://www.sparxsystems.com.au/bin/EAUserGuide.pdf>.
- SPARX SYSTEMS. *UML tools for software development and modelling – Enterprise Architect UML modeling tool* [online]. 2015 [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://www.sparxsystems.com/>.
- STERMAN, J. D. *A Skeptic's Guide to Computer Models* [online]. 1991 [cit. 2015-01-28]. Dostupné z: <http://jsterman.scripts.mit.edu/docs/Sterman-1991-ASkepticsGuide.pdf>.
- ŠMÍDA, F. *Zavádění a rozvoj procesního řízení ve firmě*. Praha: Grada, 2007. 300 s. Management v informační společnosti. ISBN 978-80-247-1679-4.
- ŠTENCL, M. *Začínáme s BPM* [online]. 2007 [cit. 2014-07-17]. Dostupné z: [https://akela.mendelu.cz/~xstencil/vyuka/bpm/bpm\\_uvod.pdf](https://akela.mendelu.cz/~xstencil/vyuka/bpm/bpm_uvod.pdf).
- VÁŠÍČEK, P. BPM portál. *Úvod do BPMN* [online]. 2008 [cit. 2014-07-21]. Dostupné z: <http://bpm-sme.blogspot.cz/2008/03/3-uvod-do-bpmn.html>.
- WHITE, S. A. *Introduction to BPMN* [online]. 2004 [cit. 2014-08-04]. Dostupné z: [http://www.omg.org/bpmn/Documents/Introduction\\_to\\_BPMN.pdf](http://www.omg.org/bpmn/Documents/Introduction_to_BPMN.pdf).
- W3TECHS. *Historical trends in the usage of server-side programming languages for websites* [online]. 2015 [cit. 2015-01-31]. Dostupné z: [http://w3techs.com/technologies/history\\_overview/programming\\_language](http://w3techs.com/technologies/history_overview/programming_language).

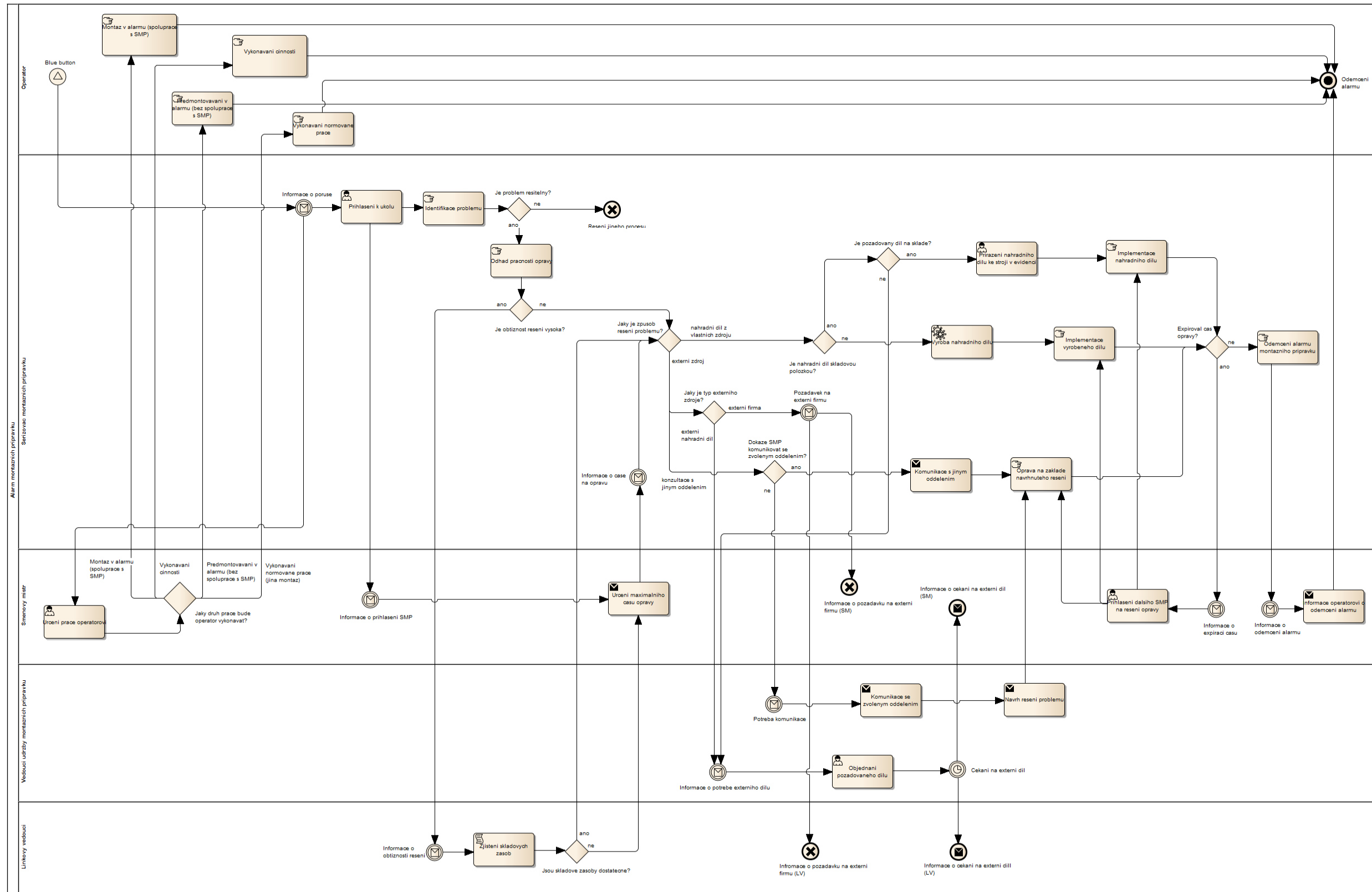
# Přílohy



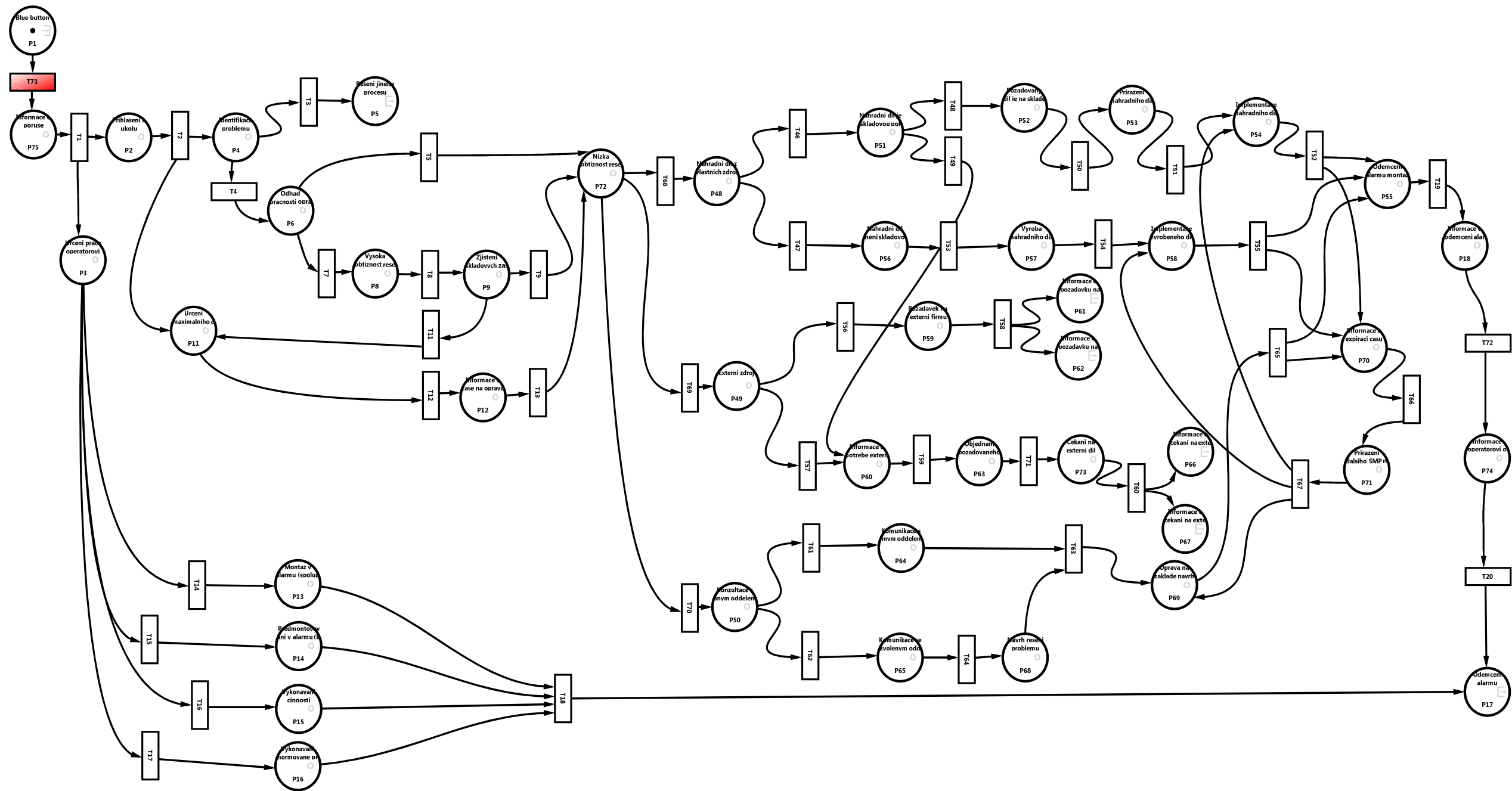
## A Alarm montážních přípravků



Obr. 20 Proces Alarm montážních přípravků – BPMN (AccuProcess Modeler)

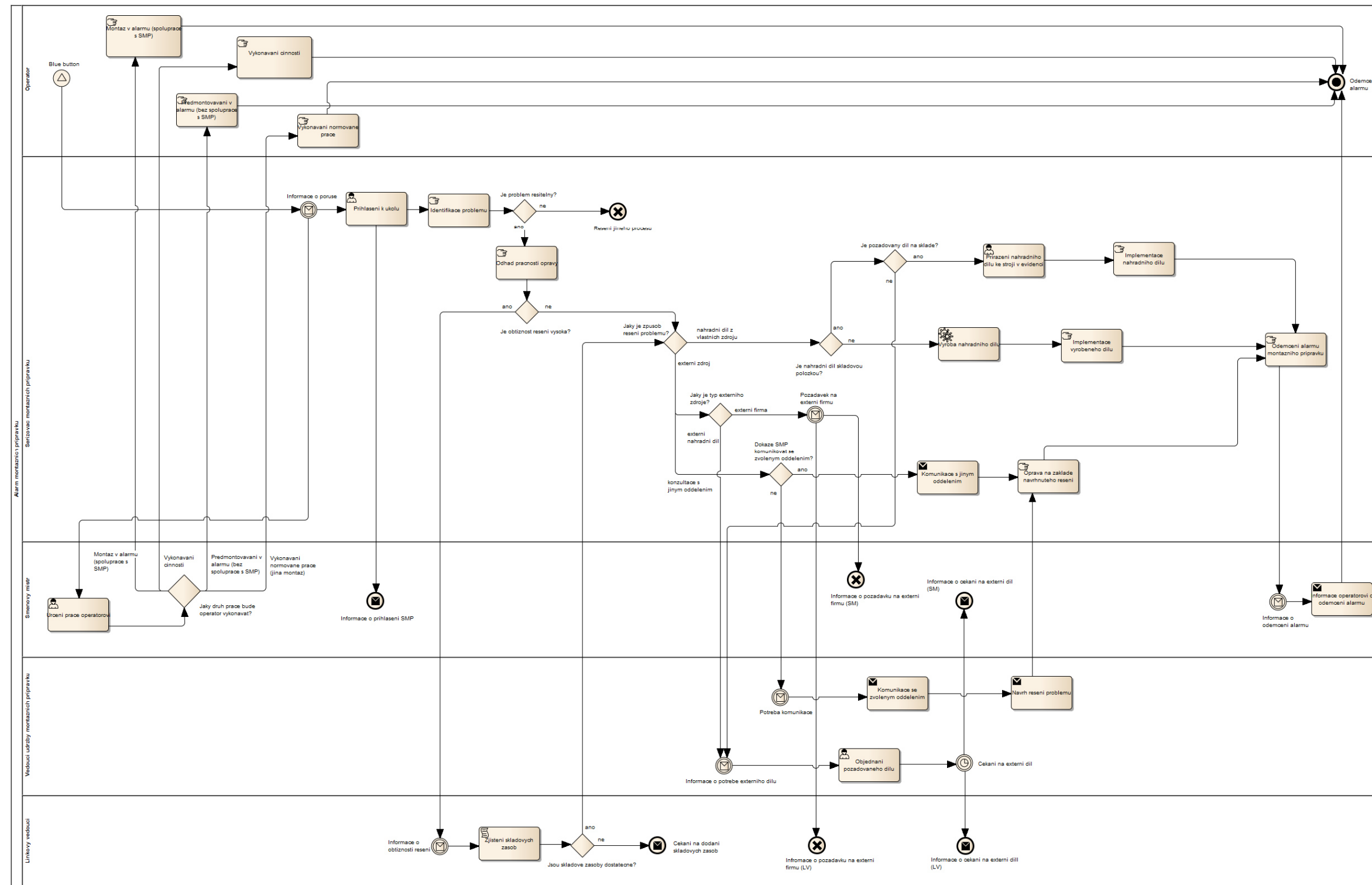


Obr. 21 Proces Alarm montážních přípravků – BPMN (Enterprise Architect)

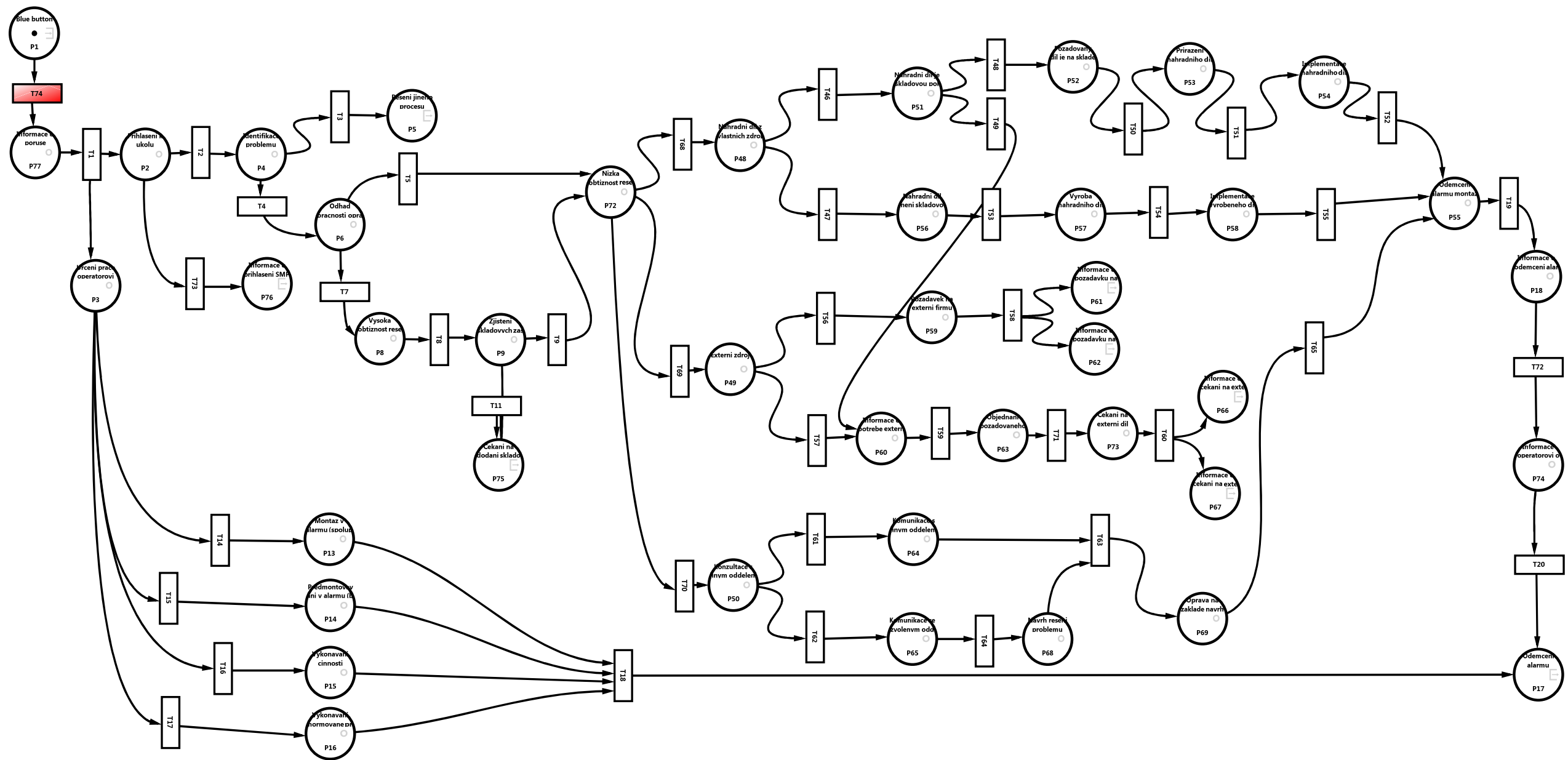


Obr. 22 Proces Alarm montážních přípravků – časovaná Petriho síť

## B Inovace A

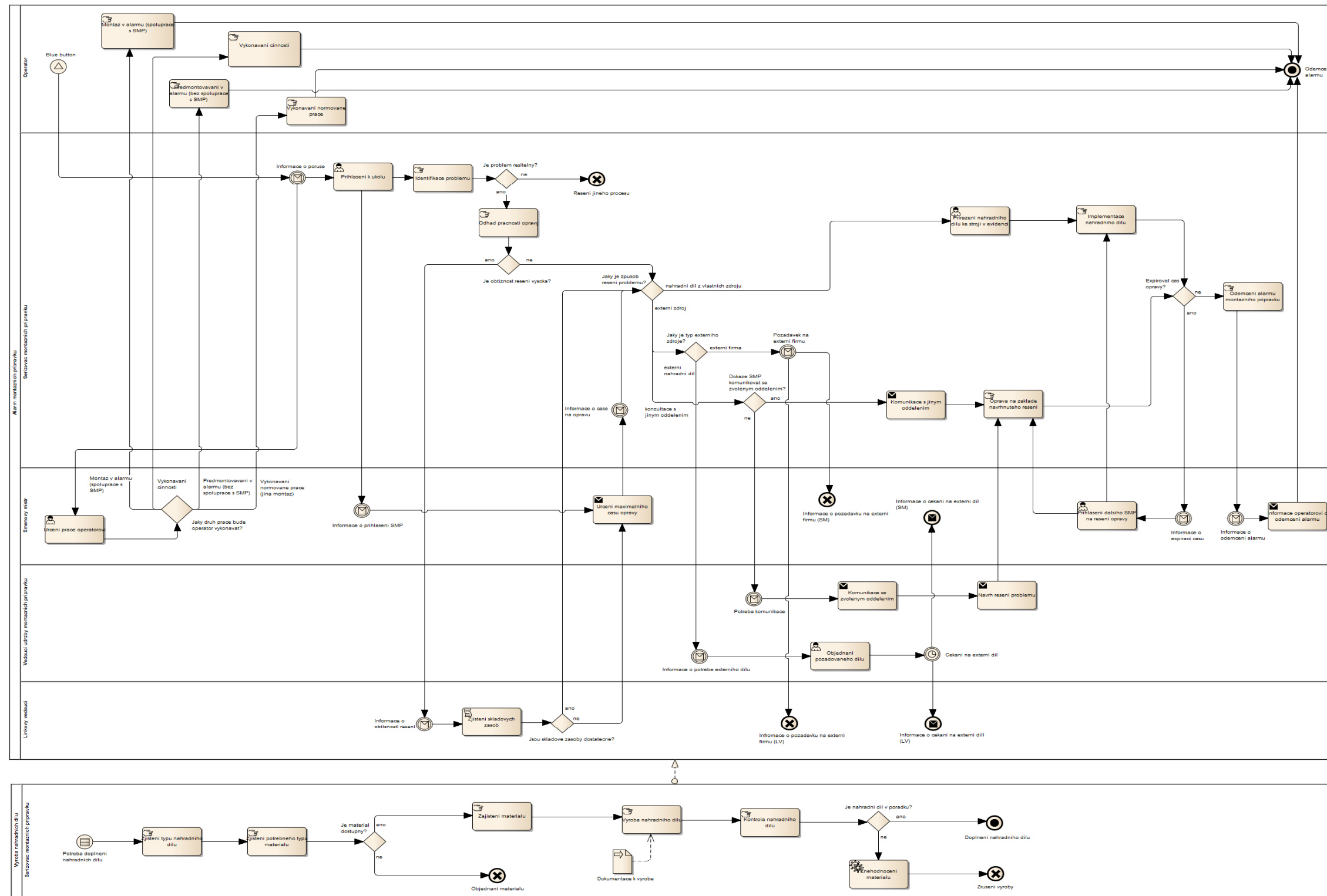


Obr. 23 Proces Alarm montážních přípravků – inovace A – BPMN (Enterprise Architect)

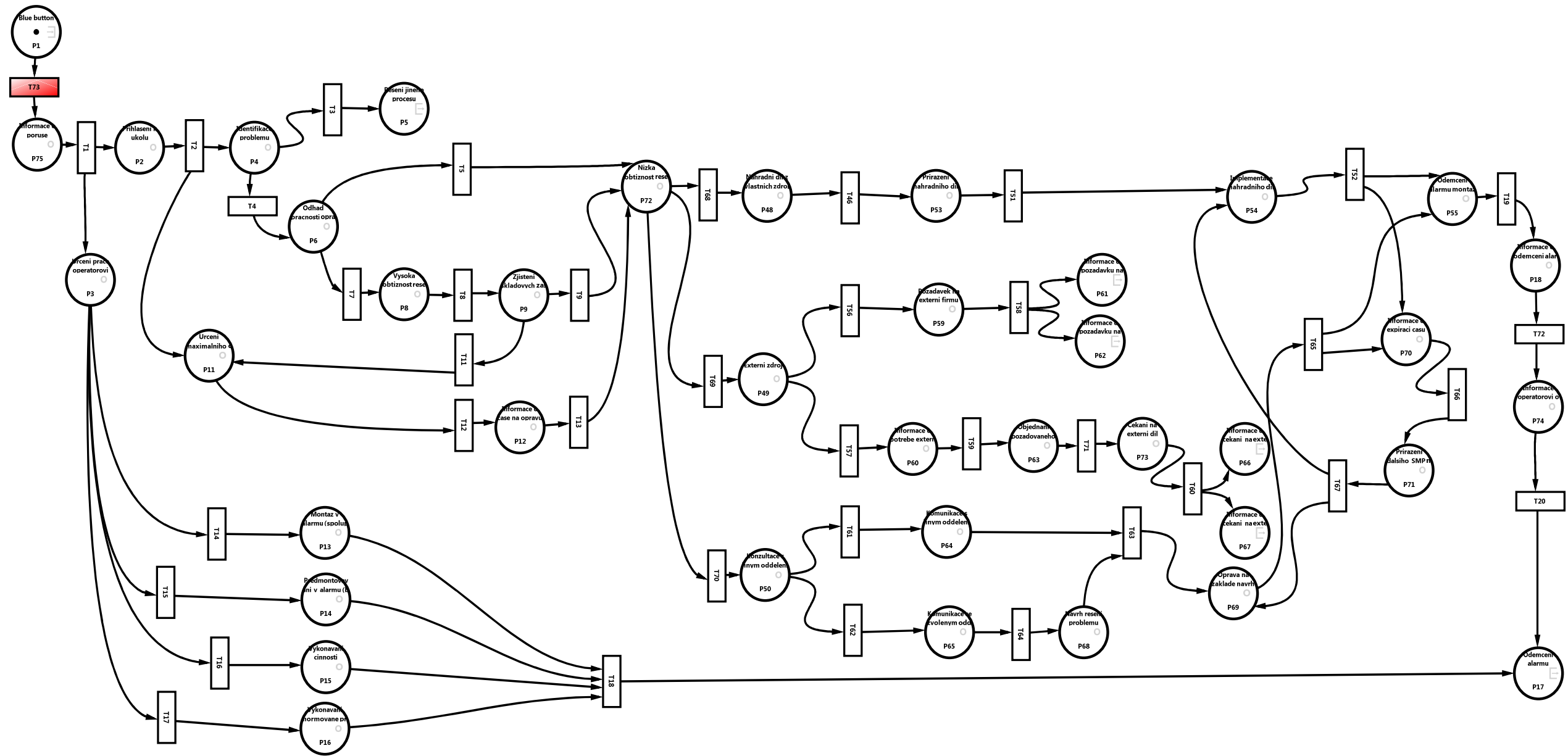


Obr. 24 Proces Alarm montážních přípravků – inovace A – časovaná Petriho síť

# C Inovace B

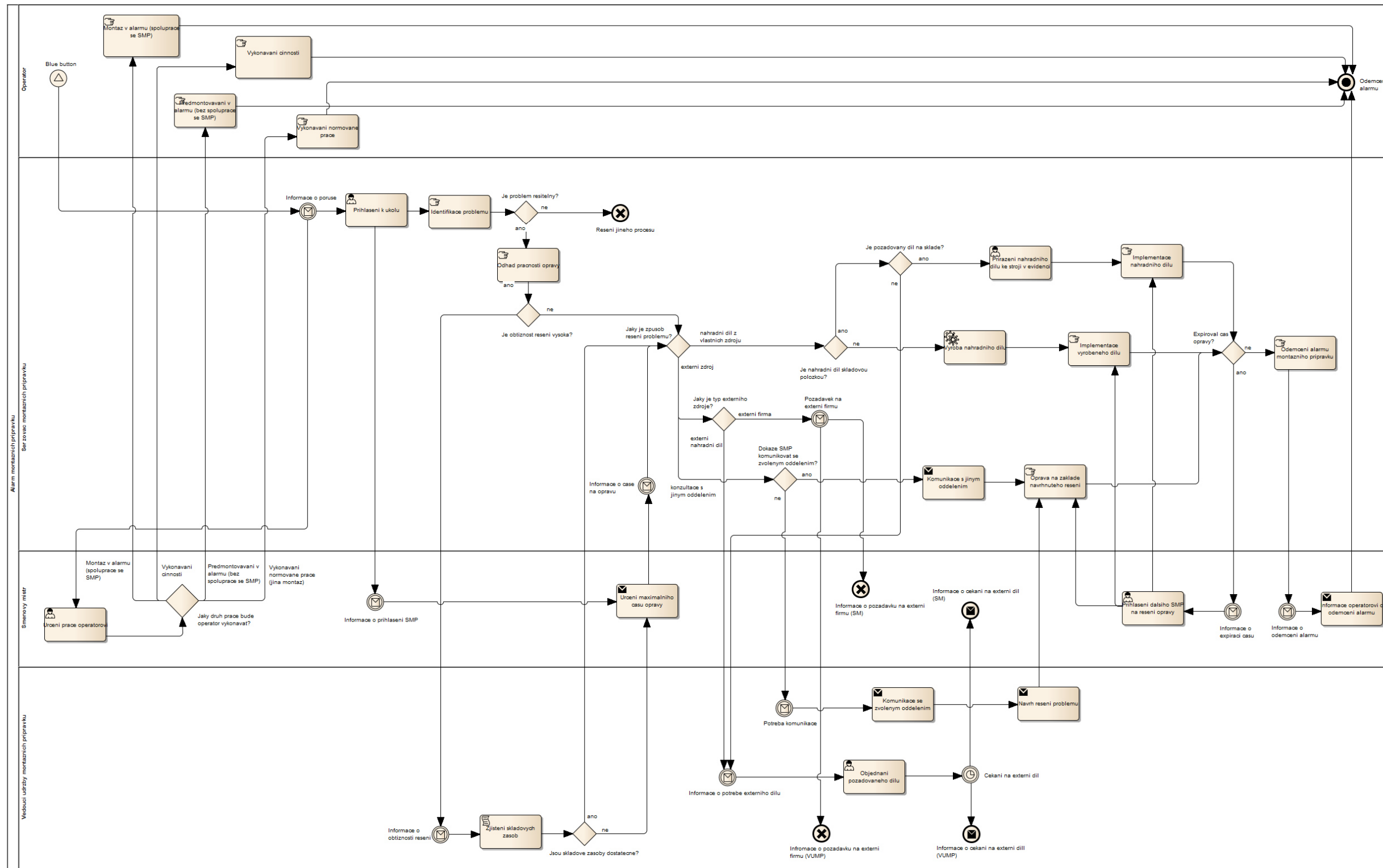


Obr. 25 Proces Alarm montážních přípravků – inovace B – BPMN (Enterprise Architect)



Obr. 26 Proces Alarm montážních přípravků – inovace B – časovaná Petriho síť

# D Inovace C



Obr. 27 Proces Alarm montážních přípravků – inovace C – BPMN (Enterprise Architect)



## E Ukázka vytváření nového uživatele

ProcessManager Domů Divize 1 - Divize 2 - Nastavení - Tomáš Orálek -

Akce

Nastavení · Správa uživatelů · Vytvoření nového uživatele

### Vytvořit nového uživatele

Údaje o uživateli

Jméno \*

Příjmení \*

Přihlašovací údaje

E-mail \*

Heslo \*

Heslo musí mít alespoň 6 znaků a musí obsahovat číslíci.

Ověření hesla \*

Systemová role

Role \*

Vytvořit

Obr. 28 Formulář pro vytvoření nového uživatele

## F Ukázka vytváření nové verze procesu

The screenshot displays the 'ProcessManager' web application interface. The top navigation bar includes 'ProcessManager', 'Domů', 'Divize 1 -', 'Divize 2 -', and 'Nastavení -'. The user profile 'Tomáš Orálek -' is visible in the top right. The main content area is titled 'Vytvořit novou verzi procesu' and 'Alarm montážních přípravků'. It features a 'Procesní mapa' section with a 'Diagram' upload field (formats: .gif | .jpeg | .png). Below this is a 'Dokumentace' section with two upload fields: 'Dokumentace (PDF)' (format: .pdf) and 'Dokumentace (DOC)' (formats: .doc | .docx). The 'Analýza' section has a 'Výsledky analýzy (PDF)' upload field (format: .pdf). The 'KPI' section includes a 'KPI 1' text input, a 'Definice' text area, and two buttons: 'Přidat KPI' and 'Vytvořit'.

Obr. 29 Formulář pro vytvoření nové verze procesu