

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA o.p.s.

Studijní program: B0413P050002 Ekonomika a management

Studijní obor/specializace: 6208R186 Podniková ekonomika a řízení provozu, logistiky a kvality

Využití počítačové simulace pro modelování produkčních procesů ve vývoji automobilových systémů Bakalářská práce

Martin KLÍMA

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.



ŠKODA AUTO Vysoká škola

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatel: **Martin Klíma**
Studijní program: Ekonomika a management
Obor: Podniková ekonomika a řízení provozu, logistiky a kvality

Název tématu: **Využití počítačové simulace pro modelování produkčních procesů ve vývoji automobilových systémů**

Cíl: Cílem práce je posoudit, zda-li je možné simulovat proces z oblasti vývoje a testování automobilových systémů jako produkční proces pomocí nástroje Tecnomatix Plant Simulation.

Rámcový obsah:

1. Posouzení vhodnosti užití nástrojů pro modelování produkčních procesů pro simulaci procesu z oblasti automobilového vývoje.
2. Tvorba konceptuálního modelu zkoumaného procesu.
3. Tvorba simulačního modelu zkoumaného procesu v Tecnomatix Plant Simulation a jeho simulace.
4. Sestavení experimentu v Tecnomatix Plant Simulation, jeho spuštění a analýza výsledků.

Rozsah práce: 25 – 30 stran

Seznam odborné literatury:

1. BANGSOW, S. *Tecnomatix Plant Simulation: Modeling and Programming by Means of Examples*. Švýcarsko: Springer, 2015. 713 s. ISBN 978-3-3191-9502-5.
2. JABLONSKÝ, J. *Operační výzkum*. Praha: Professional Publishing, 2007. 323 s. ISBN 978-80-86946-44-3.
3. TOMEK, G. – VÁVROVÁ, V. *Integrované řízení výroby.: Od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci*. Praha: GRADA, 2014. ISBN 978-80-247-4486-5.
4. *A Guide to the Project management Body of Knowledge. (PMBOK GUIDE).: (PMBOK GUIDE) – Fifth Edition*. 5. vyd. USA: Project Management Institut, Inc., 2013. ISBN 978-1-935589-67-9.

Datum zadání bakalářské práce: září 2020

Termín odevzdání bakalářské práce: květen 2021

L. S.

Elektronicky schváleno dne 8. 12. 2021

Martin Klíma

Autor práce

Elektronicky schváleno dne 8. 12. 2021

doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.

Vedoucí práce

Elektronicky schváleno dne 8. 12. 2021

doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.

Garant studijního oboru

Elektronicky schváleno dne 8. 12. 2021

doc. Ing. Pavel Mertlík, CSc.

Rektor ŠAVŠ

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval(a) samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídil(a) vnitřním předpisem ŠKODA AUTO VYSOKÉ ŠKOLY o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnicí Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědom(a), že se na tuto závěrečnou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, že se jedná ve smyslu § 60 o školní dílo a že podle § 35 odst. 3 je ŠAVŠ oprávněna mou práci využít k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna podle § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiji-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, mám povinnost o této skutečnosti informovat ŠAVŠ. V takovém případě má ŠAVŠ právo ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne

Děkuji doc. Ing. Janu Fábrymu, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce, poskytování rad a informačních podkladů.

Obsah

Úvod.....	7
1 Teoretická východiska	8
1.1 Elektronické integrované systémy v automobilu.....	8
1.2 Vývoj automobilových elektronických systémů.....	9
1.3 Testování ADAS systému	12
1.4 Obecná identifikace problému.....	15
1.5 Simulace produkčních procesů	17
1.6 VDI 3633	18
2 Konceptuální model	21
2.1 Proces systémový kvalifikační test pro ADAS.....	21
2.2 Fázový model výrobního procesu systémový kvalifikační test	25
2.3 Zajištění dat a jejich analýza	27
3 Simulace produkčního procesu.....	32
3.1 Tvorba modelu a jeho ověření.....	32
3.2 Zvolené klíčové indikátory výrobního systému	35
3.3 Simulační experiment.....	37
3.4 Ověření výsledků a jejich analýza	38
3.5 Shrnutí dosažených výsledků.....	42
Závěr	46
Seznam literatury	48
Seznam obrázků a tabulek.....	50

Seznam použitých zkratk a symbolů

ADAS	Automated Driving Assistance Systems
AEB	Automatic Emergency Braking
ASPICE	Automotive Software Performance Improvement and Capability dEtermination
HIL	Hardware In the Loop
ISO	International Organization for Standardization
ISTQB	International Software Testing Qualifications Board
IT	Information Technology
KPI	Key Performance Indicator
MIL	Model In the Loop
SIL	Software In the Loop
SPICE	Software Performance Improvement and Capability dEtermination
SW	Software
TC	Test Case
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VIL	Vehicle In the Loop

Úvod

Následující práce se zabývá simulací procesu testování asistenčních systémů řidiče (dále též ADAS) z produkčně-logistického pohledu. Proces testování zaměřený na ADAS byl vybrán z důvodu autorových letitých zkušeností v oboru testování elektronických systémů a také z důvodu dostatečné ilustrativnosti pro pochopení. Principiálně je ale možné ADAS systém zaměnit za jakýkoli jiný elektronický systém, aniž by byla jakkoli ovlivněna podstata věci.

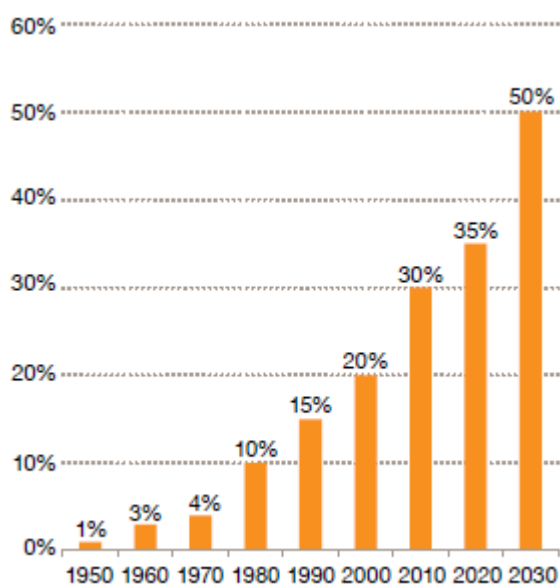
Cílem této práce je ukázat, že je možné simulovat proces z oblasti vývoje a testování automobilových systémů jako produkční proces za přispění nástrojů používaných pro simulaci běžných továrních provozů. Zkoumaným jevem bude zahlcování zkoumaného namodelovaného produkčního systému a úlohou bude odhad vhodných parametrů nastavení tohoto modelovaného systému na základě jednoduchého experimentu. Simulace bude pro účely této práce provedena v softwaru Tecnomatix Plant Simulation od Siemensu.

Nejprve bude představen význam obecného elektronického integrovaného systému v automobilu. Poté budou představeny principy vývoje takového systému, které vychází ze standardu ASPICE. Dále bude přiblíženo, jak probíhá testování takového vyvíjeného systému ve virtuální realitě, což bude konkrétně ilustrováno pro stále populárnější asistenční systémy řidiče. Následovat bude přechod k produkčně-logistickému způsobu myšlení a bude přistoupeno k obecné identifikaci problému z pohledu organizace a řízení výroby a z pohledu systémů hromadné obsluhy. Poté bude představena norma VDI 3633, která se zabývá simulacemi produkčních a logistických procesů. Po jejím představení by měl být zřejmý rozdíl mezi pojmy proces vývoje produktu a mezi odpovídajícím produkčním procesem. Posléze dojde k sestavení konkrétního konceptuálního modelu produkčního procesu, který odpovídá testování ADAS systému. Konceptuální model bude za pomoci metodiky dle normy VDI 3633 převeden do simulačního prostředí Tecnomatix Plant Simulation. V simulačním prostředí bude připraven experiment, který pomůže odhalit problémová místa simulovaného produkčního systému a zvolit vhodnou parametrizaci modelu pro budoucí provoz tak, aby výrobní systém byl schopen obsluhovat příchozí požadavky v přijatelné míře kvality.

1 Teoretická východiska

1.1 Elektronické integrované systémy v automobilu

Vývoj automobilového celku se v současné době dá považovat za velmi složitý interdisciplinární proces. Je nutné koordinovat jak vývoj klasických mechanických částí, tak i vývoj komplikovaných elektronických systémů, které slouží zpravidla ke zvýšení bezpečnosti provozu nebo komfortu posádky vozidla. Chitkara a kol. (2013) uvádí, že náklady na vývoj a výrobu integrovaných elektronických systémů v novém automobilu tvoří v průměru okolo 35 % celkových nákladů. Moderní automobil lze v dnešní době bez přehánění označit za poměrně výkonné výpočetní centrum na kolech. Z pohledu této práce se elektronickým integrovaným systémem v automobilu rozumí hardware a zároveň i software (dále též SW), který je na daném hardwaru provozován. Z pohledu současnosti probíhá nejrychleji vývoj právě v oblasti softwaru, který se stane do budoucna hlavním rozlišovacím znakem v rámci různých automobilových značek (viz Obr. 1).



Zdroj: (Chitkara a kol., 2013)

Obr. 1 Podíl nákladů na vývoj a výrobu integrovaných elektronických systémů v novém automobilu

Witter (2020) uvádí, že software dnešního automobilu má zhruba 100 milionů řádků kódu. Průměrné náklady na řádek kódu jsou okolo 10 \$. Navigační systém obsahuje okolo 20 milionů řádků kódu. Pro srovnání americký víceúčelový bojový letoun

Lockheed Martin F-35 obsahuje asi pětkrát méně kódu, tedy jen něco okolo 20 miliónů řádků. Witter (2020) dále tvrdí, že v blízké budoucnosti okolo roku 2025 se očekává zdvojnásobení nebo až ztrojnásobení velikosti kódu, tedy něco okolo 200–300 milionů řádků kódu na vozidlo. Pro plně autonomní řízení, tj. ADAS level 5, se očekává dokonce 1 miliarda řádků kódu.

Z těchto důvodů je nutné zajistit adekvátní kvalitu vývoje elektronických systémů a tím minimalizovat pravděpodobnost případného selhání, jehož dopad na okolí by mohl vést ke značným ztrátám. Nezastupitelnou roli proto hraje testování. Testování je možné modelovat jako produkční proces, což je právě předmětem této práce.

Z hlediska pojmu systém je nutné rozlišovat význam pojmu ADAS systém od významu pojmu výrobní systém dle normy VDI 3633. Podobně je nutné odlišit pojem proces testování ADAS systému, který je součástí jeho vývoje a který vychází z normy ASPICE, od pojmu výrobní proces dle normy VDI 3633, který je podstatou této práce. Oba aspekty týkající se systému a procesu budou přiblíženy v následujících kapitolách.

1.2 Vývoj automobilových elektronických systémů

Puškin (1974) říká, že systém lze v obecném slova smyslu chápat jako uspořádanou množinu prvků, které jsou vzájemně spojeny určitým principem vazby a tvoří jeden celek. Elektronický systém je charakteristický tím, že je navržen za účelem splnění očekávané potřeby, proto na počátku vývoje elektronického systému stojí soubor požadavků definující jeho očekávané chování. Vývojový proces musí zajistit správnou implementaci požadavků. Tato implementace, jež je obrazem očekávané potřeby, musí být nakonec otestována, čímž se potvrdí splnění původních požadavků.

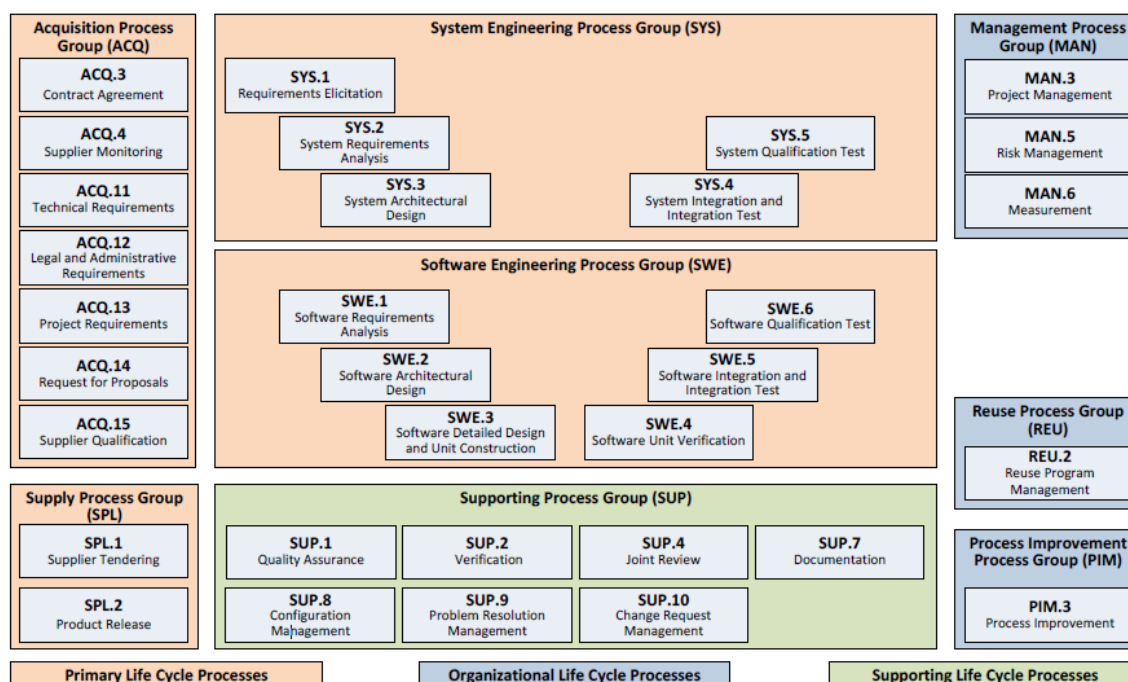
Z důvodu obecné složitosti elektronického systému a potřeby jeho integrace s dalšími systémy je nutné zajistit kvalitu řízení vývojového procesu. K tomuto účelu byl v roce 2001 předními výrobci automobilů připraven standard Automotive SPICE vycházející z normy ISO 15504, která je známá též pod názvem SPICE.

Automotive SPICE

Automotive SPICE je akronym pro Automotive Software Performance Improvement and Capability dEtermination (dále též ASPICE). Standard poskytuje rámec pro definování, implementaci a hodnocení procesu potřebného pro vývoj systému zaměřeného na software a systémové části v automobilovém průmyslu.

Automotive SPICE (2015) definuje tzv. procesní referenční model, kde jsou identifikovány podstatné procesy potřebné pro vývoj elektronického systému. Tyto procesy jsou v procesním referenčním modelu seskupeny do procesních kategorií. ASPICE zavádí 3 procesní kategorie:

- primární procesy životního cyklu,
- organizační procesy životního cyklu,
- podpůrné procesy životního cyklu.



Zdroj: (Automotive SPICE, 2015)

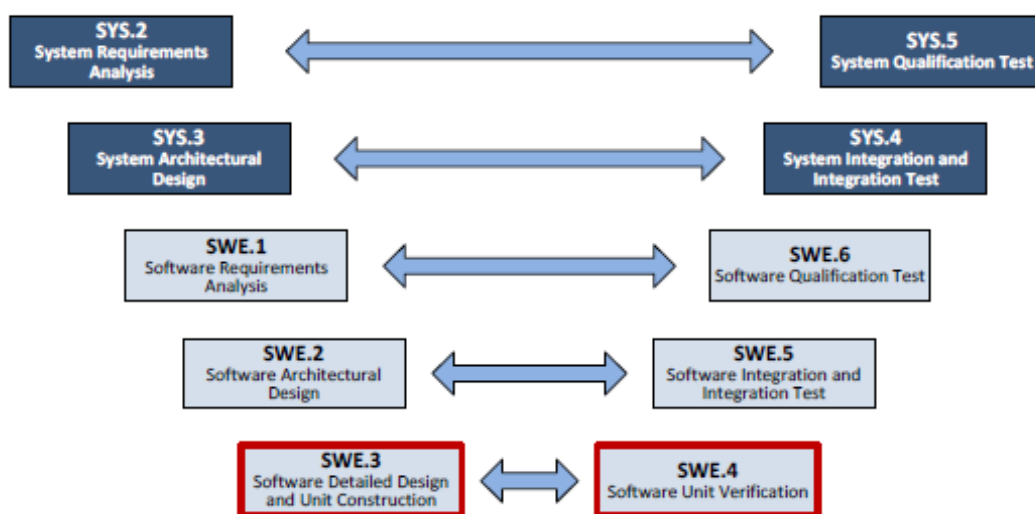
Obr. 2 ASPICE procesní referenční model

Na Obr. 2 jsou tyto kategorie barevně odlišeny. V každé kategorii jsou dále procesy rozlišeny podle své cílové funkce. Kromě identifikačních údajů procesu obsahuje ASPICE i tzv. base practices a dále definici výstupu procesu. Base practices je

podle Automotive SPICE (2015) obecně definovaný soubor základních postupů a činností potřebných ke splnění účelu procesu.

V model

Technické vývojové procesy spadají do kategorie systémových inženýrských procesů (SYS) a softwarových inženýrských procesů (SWE) (viz Obr. 2). Oba inženýrské procesy jsou organizovány podle principu V-modelu (viz Obr. 3). Každý proces na levé straně odpovídá právě jednomu procesu na pravé straně (Automotive SPICE, 2015).



Zdroj: (Automotive SPICE, 2015)

Obr. 3 ASPICE V-model

V-model rozděluje vývoj obecného elektronického systému na 2 hlavní části (viz Obr. 3):

- Levá strana V znázorňuje dekompozici zákaznických požadavků na vyvíjený systém a jejich následnou implementaci. Horní procesy obsahují nejobecnější požadavky na systém, které se směrem dolů zpřesňují do podrobných detailů. Dole je již hotová a „nějak“ funkční implementace systému.
- Pravá strana V znázorňuje testování očekávané funkcionality systému oproti požadavkům zákazníka. Spodní procesy se zabývají testováním atomárních

částí systému a procesy v horní části se věnují testování systému jako celku vůči nejobecnějším požadavkům.

Systémový kvalifikační test

Pro potřeby této práce je podstatný proces *systémový kvalifikační test* SYS.5, který spadá do kategorie tzv. systémových inženýrských procesů (viz Obr. 2).

Účelem tohoto procesu je zajistit testování vyvíjeného systému a poskytnout důkaz o shodě se zákaznickými požadavky, což je nezbytné pro jeho následné dodání. Výstupy procesu *systémového kvalifikačního testu* stanovené podle ASPICE jsou následující objekty (Automotive SPICE, 2015):

- testovací specifikace (test specification),
- plán testování (test plan),
- záznam komunikace (communication record),
- kontrolní posuzovací záznam (review record),
- sledovací záznam (traceability record),
- výsledkový záznam (test result).

Pro účely této práce je nejpodstatnější výsledkový záznam nazývaný též testovací protokol nebo test report.

1.3 Testování ADAS systému

Velmi významné téma na poli vývoje automobilů je v současnosti vývoj asistenčních systémů řidiče. Účelem ADAS systémů je aktivní ochrana bezpečnosti posádky a okolí vozidla. V dnešní době jsou ADAS systémy nepovinné a jsou obvykle nabízeny v rámci nadstandardní výbavy. V blízké budoucnosti však podle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/2144 bude od roku 2022 pro nově uváděná vozidla na trh platit povinnost vybavit je vybranými asistenčními funkcemi jako např. autonomním bržděním AEB. Do budoucna se dá očekávat, že množství povinných asistentů se bude zvyšovat.

Virtuální realita

Automotive SPICE (2015) definuje doporučený obecný procesní rámec a termínu proces je použito na abstraktní úrovni. ASPICE neobsahuje přesné operační

instrukce metod daného procesu ani konkrétní nástroje. Konkrétní nástroje a s nimi související metody si vývojová organizace volí tak, aby v potřebné míře bylo možné dosáhnout cíle

Pro ASPICE proces *systemový kvalifikační test* zbývá objasnit, jak ho realizovat a jaké nástroje k tomu zvolit. Jestliže cílem tohoto procesu je otestovat ADAS systém, tak zdánlivě nejjednodušší cestou je umístit ho do vozidla a s tímto vozidlem provést ověření všech požadavků na systém kladených. Takováto cesta je však velmi nákladná jak z hlediska potřebného času, tak i z hlediska nutnosti mít k dispozici testovací trať a obslužný personál. Vzhledem k úrovni současného rozvoje techniky je možné část testování provést nikoli s reálným vozidlem, ale ve virtuální realitě za použití moderních výpočetních nástrojů. Další nespornou výhodou virtuální reality je poměrně snadná možnost automatizace testování. Ta umožňuje provádět testování i mimo běžnou pracovní dobu, kdy se vytěžuje pouze strojový výpočetní čas. To má příznivý vliv na využitelný časový fond a lze tím dosáhnout zkrácení výrobního cyklu procesu testování, což může umožnit dřívejší uvedení produktu na trh a zajistit tak konkurenční výhodu.

Simulační prostředí pro ADAS

Jako nástroj virtuální reality je nutné pro testování ADAS funkcí použít vhodné simulační prostředí. V této práci bude ve stručnosti představeno simulační prostředí CarMaker od firmy IPG Automotive GmbH. IPG CarMaker je otevřená integrační a testovací platforma, kterou lze použít v průběhu celého vývojového procesu – od fyzikálního modelu dynamiky vozidla, přes SIL (software-in-the-loop) a HIL (hardware-in-the-loop) až po VIL (vehicle-in-the-loop) (IPG Automotive, 2021).

Testware pro ADAS

ISTQB (2021) definuje testware jako artefakty vytvořené během procesu testování potřebné k plánování, navrhování a provádění testů, jako je dokumentace, skripty, vstupy, očekávané výsledky, postupy init a clean-up procedury, soubory, databáze, prostředí a jakýkoli další software nebo nástroje používané při testování. Dle této definice lze považovat simulační prostředí IPG CarMaker společně s testovacími případy ve formě skriptů za testware. Tento testware je potřebný pro realizaci testovací kampaně.

Příprava virtuálního vozidla

Před zahájením testování je nutné připravit simulační prostředí. Tuto aktivitu lze připodobnit ke stavbě automobilu odehrávající se ve virtuální realitě. Jedná se o parametrizaci modelu vozidla na požadovaný typ (např. sada parametrů pro Škoda Octavia) a dále zabudování ADAS funkce a její propojení se simulačním modelem vozidla takovým způsobem, aby funkce dokázala ovlivňovat podélnou a příčnou dynamiku vozidla. Zabudování ADAS funkce ve virtuální realitě se děje integrací zdrojového kódu dané ADAS funkce do simulačního modelu vozidla. Po těchto krocích je možné přistoupit k testování ADAS systému. Proces je podobný jako kdyby se reálná řídicí jednotka zprovoznila v reálném vozidle. Teprve poté je možné začít funkci testovat.

V průběhu životního cyklu vývojového projektu ADAS systému se integrace ve virtuální realitě opakuje mnohokrát, což vyžaduje simulační prostředí periodicky aktualizovat. Simulační prostředí se pro účely této práce bude nazývat model-in-the-loop (dále též MIL) a proces jeho vzniku nebo aktualizace jako *MIL integrace*.

Testovací případy

V okamžiku, kdy je připravená *MIL integrace*, je třeba dodat popis testovacích případů (dále též TCs). ISTQB (2021) definuje testovací případ jako sadu vstupních podmínek, vstupů, očekávaných výsledků, výstupních podmínek a případně akcí, které jsou vypracovány na základě testovacích podmínek. Testovací případy jsou odvozeny na základě zákaznických požadavků a jedná se o popis jízdního manévru. Pro potřeby testování ve virtuální realitě se manévr realizuje jako spustitelný skript v daném simulačním prostředí, který po spuštění řídí virtuální vozidlo a tím průběh požadované jízdní situace. Součástí skriptu je i vyhodnocení testovacího případu podle požadovaného kritéria. Tento výsledek se zanáší do výsledkového záznamu.

Testovací kampaň

V průběhu životního cyklu projektu dochází vlivem vývoje produktu k jeho periodickému uvolňování pro účely testování. Za uvolnění nového ADAS software je odpovědný SW manažer. Ve chvíli, kdy je uvolněn nový ADAS software,

je potřeba aktualizovat simulační prostředí. Integrace ADAS systému do MIL simulačního prostředí je prováděna systémovým integrátorem. Po aktualizaci tohoto simulačního prostředí je toto dále poskytnuto testovacím inženýrům. Tímto okamžikem je možné zahájit testovací kampaň. Výstupem testovací kampaně je kompletní výsledkový záznam, který v nejjednodušší formě obsahuje metriku splněno/nesplněno pro konkrétní testovaný požadavek.

1.4 Obecná identifikace problému

Puškin (1974, str. 94) uvádí, že „problémová situace je podnět, na nějž jako odezva vzniká posloupnost operací jako jistý reflexivní akt“. Problémovou situací na tomto místě je výběr vhodných metod a nástrojů pro analýzu procesu *systémového kvalifikačního testu*. Od těchto nástrojů se očekává, že přinesou odhalení a pochopení jevů přítomných ve zkoumaném procesu, které jsou podstatné pro jeho budoucí organizování a řízení.

Výrobní proces

Z kapitoly 1.3 Testování ADAS systému, je zřejmé, že se jedná o proces, který má za cíl pomocí vhodných metod a nástrojů vyprodukovat informaci o tom, jestli testovaný ADAS systém vyhovuje na něho kladeným nárokům.

Tomek a Vávrová (2014, str. 26) charakterizují výrobní proces jako „výsledek cílevědomého lidského snažení, kdy použitím vstupních faktorů zajišťuje příslušný transformační proces co nejhodnotnější výstup“.

Na základě definice výrobního procesu lze tím pádem nahlížet na testovací oddělení v rámci vývoje produktu jako na továrnu na výsledky. Testware je nezbytným vstupem do procesu a výsledkový záznam je jeho výstupem.

Testovací kampaň je charakteristická svou periodicitou, neboť vývoj produktu se velmi často odehrává iteračním způsobem a zpravidla za použití technik agilního projektového řízení. Během vývoje nastává tudíž mnoho změn, které je nutno implementovat a stále znovu testovat vůči požadavkům. Tím dochází k opakujícím se činnostem.

Typologie výrobního procesu

Proces *systémový kvalifikační test* je z hlediska typologie výroby podle programu a rozsahu provedených výkonů analogií (malo)sériové výroby s nehmotným výstupem, neboť dle Staše (2017) je malosériová výroba

- charakteristická výrobou nižšího množství výrobků stejného druhu,
- obvykle se opakuje s určitou periodicitou,
- opakovanost výroby umožňuje zvýšit specializaci pracovišť.

Z hlediska typologie výroby podle způsobu transformace vstupů se dá hovořit o analyticko-syntetickém výrobním procesu náročném na informace.

Testovací proces je teoreticky téměř plně automatizovatelný bez nutnosti zaměstnávat obsluhu, avšak v praxi se na systémové úrovni testování ještě nepodařilo člověka plně nahradit, neboť údržba celé testovací platformy je nesmírně náročná na lidské znalosti. Slovo vývoj lze chápat ve významu neustálé změny. V testovacím procesu se tak člověk v kombinaci s počítačem stává analogií výrobního stroje v klasické hmotné výrobě. Z hlediska typologie dle využití technických zařízení lze mluvit o výrobě částečně automatizované.

Systém hromadné obsluhy

Jablonský (2007, str. 239) uvádí, že „v systémech hromadné obsluhy se v zásadě vyskytují dva druhy jednotek. Jsou to jednak požadavky, které do systému přicházejí za účelem realizace obsluhy, a jednak obslužná zařízení (obslužné linky), která tuto obsluhu zabezpečují“.

Dle Jablonského (2007) je typickým představitelem hromadného systému výrobní linka. Zkoumaný proces *systémový kvalifikační test* je svým charakterem též výrobní linka, kde požadavkem do systému je otestovat vyvíjený ADAS systém a obslužná zařízení jsou kombinací obslužného personálu a výpočetní techniky.

Jablonský (2007) uvádí, že výstupem analýzy systému hromadné obsluhy jsou:

- časové charakteristiky týkající se požadavků,
- charakteristiky týkající se počtu požadavků,
- pravděpodobnostní charakteristiky,

- nákladové charakteristiky.

Jablonský (2007) dále uvádí, že dosažení řešení modelu hromadné obsluhy, tj. získání konkrétních charakteristik, lze buď analyticky anebo pomocí simulace. Přitom jedinou cestou, jak přistupovat k řešení složitějších systémů hromadné obsluhy je jejich simulační řešení.

Na proces *systémového kvalifikačního testu* je proto možné nahlížet jako na softwarovou testovací továrnu ve virtuálním prostředí. Vzhledem k poměrně vysoké komplikovanosti procesu se jeví smysluplné použití simulačních nástrojů pro plánování produkce jako například Tecnomatix Plant Simulation od Siemensu. Díky využití nástrojů pro simulaci výrobních linek bude možné dosáhnout kvalitnějšího obrazu celého procesu *systémového kvalifikačního testu*. Tím bude dále umožněno výstup procesu *systémového kvalifikačního testu* zefektivnit a dosáhnout lepších hodnot ve zvolených charakteristikách.

1.5 Simulace produkčních procesů

Simulace je důležitým nástrojem pro plánování, realizaci a provoz složitých produkčně-logistických systémů. Několik ekonomických trendů, jako např. rostoucí složitost a rozmanitost výrobků, zvyšující se nároky na kvalitu v souvislosti s tlakem na náklady, rostoucí požadavky na flexibilitu, kratší životní cykly výrobků, zmenšování velikosti výrobních dávek, úpravy produktu na míru a rostoucí konkurenční tlak vedou ke zkracování plánovacích cyklů. Z těchto důvodů se simulace ukazuje jako efektivní nástroj oproti jednodušším metodám, které v takových případech neposkytují adekvátně kvalitní výsledky (Bangsow, 2010).

Podle Bangsowa (2010) lze simulaci využít při plánování, realizaci a provozu zařízení. Simulace nám v plánovací fázi může poskytnout odpovědi na otázky týkající se:

- identifikace úzkých míst,
- odhalení skrytého, nevyužitého potenciálu,
- srovnání různých alternativ plánování,
- testování parametrizace týkající se kapacity, účinnosti řízení, výkonnostních limitů, úzkých míst, rychlosti průchodu a objemu zásob,

- Vizualizace alternativ plánování pro rozhodování.

V realizační fázi nám simulace může pomoci v hledání odpovědi na otázky týkající se:

- testů výkonnosti,
- analýzy příčin problému,
- testů výkonnosti na budoucí požadavky,
- simulace selhání a chybových stavů systému,
- školení nových zaměstnanců (např. při řízení neshodných produktů),
- simulace chování systému při náběhu výroby.

V provozní fázi nám simulace může pomoci nalézt odpovědi na otázky týkající se:

- testování alternativ řízení,
- přezkoumání strategií pro případ havárie,
- prokázání zajištění kvality a řízení poruch,
- expedice objednávek a stanovení pravděpodobných termínů dodání.

1.6 VDI 3633

VDI 3633 (2008) je technická norma popisující základy simulace logistiky, toku materiálu a výrobních systémů a je určena projektantům, výrobcům a provozovatelům závodů. Standard je zamýšlen jako orientační pomůcka, která usnadní vstup do simulačních technologií a umožní uživateli lépe porozumět přípravě, provádění a vyhodnocování simulačních studií pro zkoumání logistiky, materiálových toků a výrobních systémů.

Standard VDI 3633 (2008) definuje základní pojmy týkající se modelování a simulace produkčních a logistických systémů následovně:

- *Simulace* je obraz skutečného systému s jeho dynamickými procesy v prostředí modelu. Cílem je dosáhnout poznatků přenositelných do reality. Simulace v širším slova smyslu znamená přípravu, realizaci a vyhodnocení konkrétních experimentů s pomocí simulačního modelu.

- *Systém* je definován jako samostatný soubor komponent, které jsou vzájemně propojeny a interagují mezi sebou.
- *Model* je zjednodušený obraz plánovaného nebo existujícího systému s jeho procesy. V důležitých vlastnostech se model od originálu liší pouze v rámci specifikovaných tolerancí.
- *Experiment* je cílená empirická studie chování modelu pomocí opakovaných pokusů. Pomocí systematické změny zvolených vstupních veličin je sledována odezva zkoumaného systému.

Fázový model simulačního projektu

Standard VDI 3633 (2008) doporučuje následující přístup k simulačnímu projektu produkčně-logistického řetězce:

1. formulace problému,
2. prověření vhodnosti simulace,
3. formulace cílů,
4. zajištění dat a jejich analýza,
5. tvorba modelu a jeho ověření,
6. simulační běh,
7. ověření výsledků a jejich analýza,
8. prezentace/dokumentace.

Modelování systému

Modelování systému je ve fázovém modelu dle VDI 3633 (2008) zachyceno bodem 5 a dle Bangsowa (2010) ho lze dekomponovat do 2 hlavních fází:

- sestavení konceptuálního modelu,
- převedení konceptuálního modelu do simulačního prostředí.

Puškin (1974, str. 42) uvádí, že „Model nemusí ani nemůže mít všechny vlastnosti modelovaného objektu. Model jako nástroj poznávání a přetváření světa je vhodné spíše považovat za určitý bod, jenž má jistý soubor vlastností, které jsou vyčleňovány z hlediska určité úlohy“. Simulační model je tedy převedením myšlenek

konceptuálního modelu v pojmovém tvaru do podoby virtuálního počítačového modelu na numerické bázi.

2 Konceptuální model

2.1 Proces systémový kvalifikační test pro ADAS

V této kapitole bude popsán pojmový model procesu *systémový kvalifikační test*. Jedná se o jednu z potenciálních podob konkrétní implementace daného ASPICE procesu, která vychází z vlastních zkušeností autora. Na uvedené hodnoty vstupních charakteristik je nutné pohlížet jako na jedny z možných a zaměřit se spíše na podstatu jejich významu ve vztahu k danému procesu. Na základě tohoto konceptuálního modelu bude odvozen konkrétní simulační model.

Release committee

Proces systémový kvalifikační test ADAS systému se odehrává pro každé nové vydání softwaru. Tento proces začíná tzv. *release committee*, což je nástroj pro příjem pracovního balíku pro nadcházející iteraci. Jedná se o setkání vedoucích aktérů na straně zákazníka a na straně procesu *systémového kvalifikačního testu*. Zákazník bývá obvykle SW manažer odpovědný za vývoj softwaru pro ADAS systém a na straně testování je odpovědným aktérem manažer testování. Zde se odsouhlasí objem požadované práce pro nadcházející období. *Release committee* se koná s předem dohodnutou konstantní periodou. Pro účely této práce se časový interval po sobě jdoucích *release committee* bude nazývat jako *iterační cyklus*. Pro proces je stanovena uzávěrka pro odevzdání test reportu s výsledky do konce n+1 iterace čili do 2 týdnů od dané *release committee*.

Příprava testovacích případů

Účel testovacího procesu je ověření zákaznických požadavků, které spočívá v přípravě, spuštění a vyhodnocení daných testovacích případů. Testovací případy jsou připravovány testovacím inženýrem a dělí se do 3 kategorií podle obtížnosti jejich přípravy a podle priority jejich přechodu z fronty do obsluhy:

- *Regresní test* je nejjednodušší a jedná se o spuštění a vyhodnocení již existujících testovacích případů. Podle varianty testovaného ADAS systému se vyberou z databáze testovací případy a utvoří tzv. testovací sérii, která se spouští dávkově. Tyto požadavky mají vysokou prioritu. Spuštění a vyhodnocení jednoho případu je v průměru v řádu minut.

Je využito velkého podílu automatizace, která zajišťuje sekvenční spuštění a vyhodnocení předem definované testovací série případ po případu.

- *Nová implementace testovacího případu* je nejsložitější a jedná se o odvození testovací procedury na základě zákaznického požadavku a napsání nového kódu. Následuje spuštění a vyhodnocení daného případu. Poté se případ zařazuje do databáze již existujících testovacích případů a využívá se dále pro regresní testování. Jde o jednotky kusů, které se musí implementovat pro nové vydání softwaru ADAS systému. Tyto požadavky mají nízkou prioritu. Implementace nového testovacího případu je v průměru v řádu hodin. Nelze využít automatizace, testovací případ je vytvářen na základě znalostní práce testovacího inženýra.
- *Změna existujícího testovacího případu* je středně složitá a vyžaduje úpravu existujícího testovacího případu dle změnového požadavku. Jde o jednotky kusů změn, které se musí implementovat pro nové vydání softwaru ADAS systému. Implementace nového testovacího případu je v průměru v řádu hodin. Tyto požadavky mají střední prioritu. Nelze využít automatizace, testovací případ je upravován na základě znalostní práce testovacího inženýra.

Jablonský (2007) rozlišuje režim fronty u systémů hromadné obsluhy a systém, kde dochází k přechodu požadavků z fronty do obsluhy podle zadané priority označuje jako tzv. režim prioritní, což je i případ zkoumaného produkčního systému.

MIL Integrace

Před spuštěním požadovaných testovacích případů je ještě nutné připravit testovací prostředí. Jedná se o provedení procesu *MIL integrace*. Vstupem pro *MIL integraci* je zdrojový kód ADAS systému dodaný zákazníkem. Jako platforma pro sdílení zdrojového kódu ADAS systému mezi zákazníkem a procesem *systémového kvalifikačního testu* slouží GIT repositář¹. Správná funkčnost nové *MIL integrace* se ověřuje tzv. *smoke testy*. ISTQB (2021) definuje *smoke test* jako podmnožinu definovaných testovacích případů, které pokrývají hlavní funkcionality komponenty nebo systému. Jejich úspěšným provedením se potvrzuje funkčnost nejdůležitějších

¹ Git je v informatice distribuovaný systém správy verzí.

částí ADAS systému. Neřeší se jemnější detaily. V okamžiku, kdy je k dispozici kompletní testware, je možné spustit a vyhodnotit všechny požadované manévry ve virtuální realitě.

Spuštění a vyhodnocení testovacích případů

Spuštění a vyhodnocení testů se děje na výkonném počítači a je automatizováno. Výstupem z procesu *systémového kvalifikačního testu* je test report obsahující metriku pass/fail pro každý testovací případ. Tento test report musí před odesláním projít kontrolou kvality, kde se vyloučí případná falešná pozitivita nebo falešná negativita výsledku. Pokud tento jev nastane, pak se jedná o neshodný produkt, který je v obecné rovině dle Nenadála (2008) definován jako produkt, který neodpovídá specifikaci, tj. stanoveným požadavkům. To v sobě zahrnuje i variantu, že ho nelze použít k původnímu účelu, protože není plně schopen plnit svou funkci, pro kterou je určen. Tato funkce v případě test reportu spočívá v podání informace, zdali testovaný ADAS systém neobsahuje nebezpečnou chybu, která by mohla v provozu vést k jeho selhání, které by mohlo vést k fatálním následkům. Nenadál (2008) dále uvádí, že bez efektivně fungujícího subsystému řízení neshod nebude možné efektivní fungování zajišťování jakosti ani v budoucnu. Z tohoto pohledu bude na test report obsahující chybné výsledky nahlíženo jako na neshodný produkt, neboť nemůže být poskytnuta úplná informace o zralosti produktu. Realizace opatření k nápravě chybného test protokolu, který obsahuje falešné výsledky, bude spočívat ve vrácení celého balíku testů zpět do výrobního systému na opravu. Kontrolu kvality provádí manažer testování. Jakmile test report projde procesem kontroly kvality, následuje jeho odeslání k zákazníkovi.

Vzhledem k nastavené prioritě režimu přechodu z fronty u 3 základních kategorií testovacích případů, je ještě nutné v rámci jejich automatizovaného spuštění a vyhodnocení ošetřit prioritu přechodu z fronty do obsluhy pro neshodné testovací případy a pro smoke testy ověřující funkčnost MIL integrace. Tyto všechny požadavky se můžou setkat ve frontě pro automatizované spuštění a vyhodnocení. Bylo stanoveno že, při *neshoda* má přednost před *smoke testem*, který má přednost před *regresním testem*, který má přednost před *požadavkem na změnu existujícího testovacího případu*, který má přednost před *požadavkem na novou implementaci testovacího případu*.

TeamForge Kanban

Zákaznické požadavky na testování pro danou iteraci jsou po *release committee* převedeny do formy ticketů a přiřazeny odpovědným aktérům. Pro tento účel je možné využít např. platformu TeamForge-CoreALM², která slouží pro sledování přijatých úloh a je analogií kanbanu v klasické výrobě. Rozlišují se tickety pro:

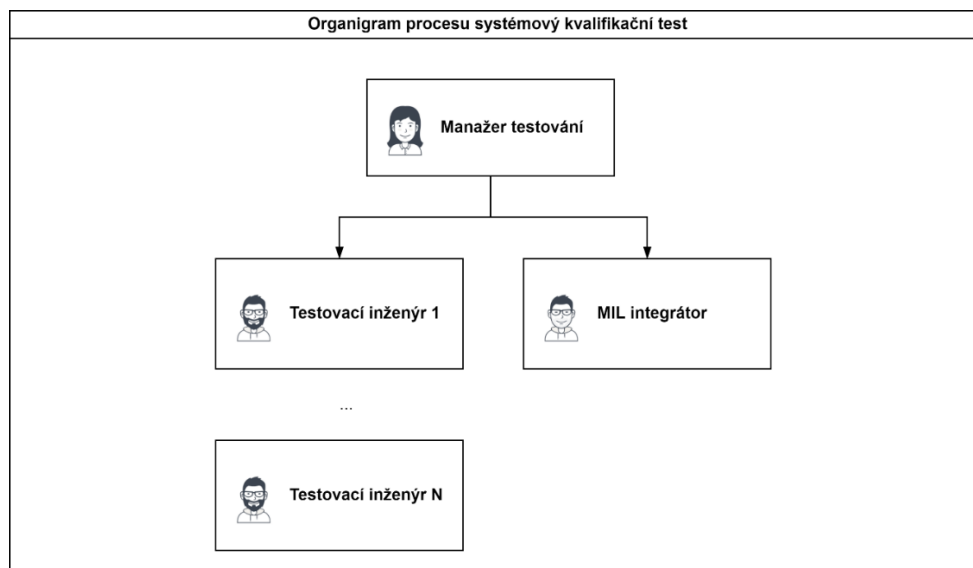
- MIL integraci,
- regresní test,
- novou implementaci,
- změnový požadavek,

Tyto tickety jsou přiřazeny odpovědným zpracovatelům:

- MIL integrátor, který provádí MIL integraci.
- Testovací inženýr, který provádí přípravu regresního testu, novou implementaci, změnu testovacího případu.

Organizační struktura

Statická organizační struktura modelovaného procesu je na Obr. 4.



Obr. 4 Organigram procesu systémový kvalifikační test

² TeamForge je proprietární kolaborativní systém pro správu životního cyklu aplikací podporující řízení verzí a systém řízení vývoje softwaru.

ISTQB (2021) definuje pracovní role pro proces testování následovně:

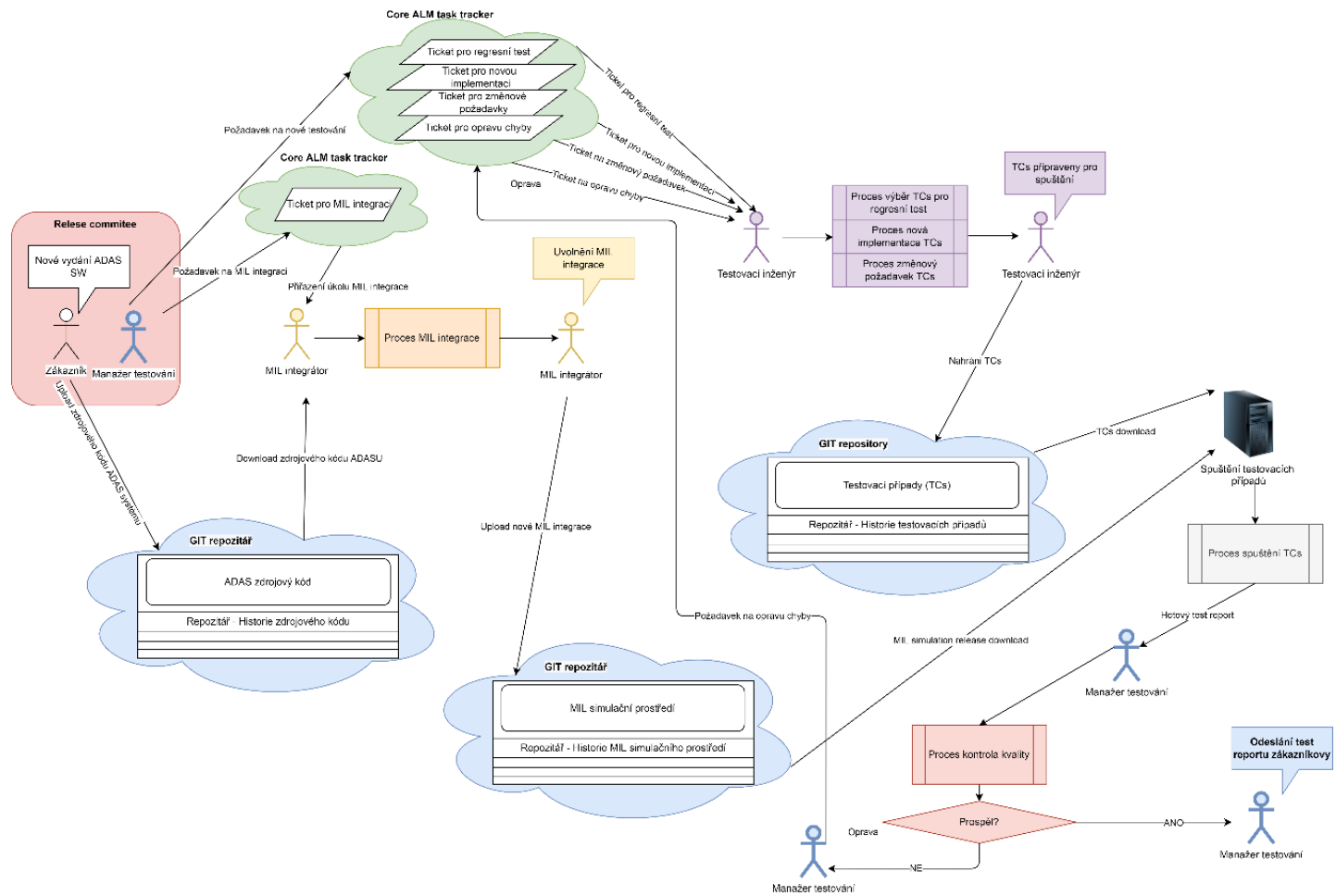
- *Testovacího manažera* jako osobu zodpovědnou za projektové řízení testovacích aktivit a zdrojů a dále za vyhodnocení předmětu testování. To obnáší management, řízení, správu, plánování a regulaci testovacích aktivit
- *Testovacího inženýra* jako osobu, která je zodpovědná za návrh, implementaci, údržbu architektury a technický rozvoj výsledného řešení testování.
- *MIL integrátor* není dle Rady pro mezinárodní testování softwaru ISTQB rozlišen. Z jejího pohledu se jedná o testovacího inženýra. Rozlišení má nicméně praktický smysl z důvodu rozdílných typů aktivit a nutnosti hlubokých znalostí o simulačním prostředí IPG CarMaker vedoucí k rozdílné specializaci pracovníka.

Schéma modelovaného procesu v konceptuální formě je na Obr. 5.

2.2 Fázový model výrobního procesu systémový kvalifikační test

Následující část je věnována uvedení konceptuálního modelu procesu *systémového kvalifikačního testu* do souladu s jeho fázovým modelem dle standardu VDI 3633:

1. *Formulace problému.* Cílem je namodelovat proces *systémový kvalifikační test* a zjistit jeho propustnost při zadaných statických parametrech. Z pohledu operačního výzkumu se jedná o zjištění vybraných charakteristik systému hromadné obsluhy. Jinými slovy se hledá odpověď na otázku, kdy se výrobní proces *systémový kvalifikační test* zahltí natolik, že přestane plnit zákaznické požadavky v přijatelném termínu.
2. *Prověření vhodnosti simulace.* Vzhledem ke složitosti povahy zkoumaného systému hromadné obsluhy se simulace jeví jako vhodný nástroj pro modelování jeho chování.



Obr. 5 Konceptuální model procesu systémový kvalifikační test

3. *Formulace cílů.* Cílem je maximalizovat využití procesu *systemového kvalifikačního testu* pomocí nastavitelného parametru *periody release committee*, tj. určit nejnižší možnou délku *iteračního cyklu* tak, aby nedocházelo k překračování dohodnutých termínů dodávek výstupu zákazníkovi ve statisticky významné míře. Tato míra bude pro účely této práce stanovena na 10 % objemu produkce, která může být dodána po stanovené lhůtě.
4. *Zajištění dat a jejich analýza.* Je předmětem kapitoly 2.3.
5. *Tvorba modelu a jeho ověření.* Je předmětem kapitoly 3.1.
6. *Simulační běh.* Je předmětem kapitoly 3.3.
7. *Simulace výsledků a jejich analýza.* Je předmětem kapitoly 3.4.
8. *Prezentace/dokumentace.* Je předmětem celé kapitoly 3.

2.3 Zajištění dat a jejich analýza

Analýza dat proběhla dle teoretických předpokladů. Parametry byly nastaveny dle autorových zkušeností.

Vstupy do produkčního procesu (Sources)

Dle Bangsowa (2010) představuje zdroj v Tecnomatix Plant Simulation objekt, který dodává do výrobního systému vstupní požadavky ve formě entit, kontejnerů nebo transportérů.

Vstupní požadavky do procesu *systemového kvalifikačního testu* odpovídají ticketům z *release committee* a jsou to požadavky na:

- MIL integraci,
- regresní test,
- novou implementaci,
- změnový požadavek,
- oprava falešného výsledku.

Pro každou kategorii vstupního požadavku byl v modelu připraven samostatný vstup, kromě zpětnovazebního interního požadavku na opravu falešného výsledku, který se z podstaty věci produkuje v produkčním systému sám o sobě.

Generované entity

Entity představují v Tecnomatix Plant Simulation materiálový tok proudící od předcházejícího výrobního procesu k následujícímu výrobnímu procesu. Lze si je představit jako zpracovávaný produkt. Po vstupu *entity* do výrobního systému, se daná *entita* v systému pohybuje do té doby, než doputuje na výstup z výrobního systému. Poté mizí (Bangsow, 2010).

Generování *entit* bude řízeno dle stanoveného časového intervalu po sobě jdoucích *release committee* neboli dle předem pevně zvoleného iteračního cyklu. Událost *release committee* bude stanovena na 12:00 daného dne, kdy dojde vždy k vygenerování všech 4 vstupních požadavků. *Iterační cyklus* bude řízen pomocí globální proměnné *vSetCycle_days*, která se stane i řídicí proměnnou pozdějšího experimentu. Její rozměr je ve dnech.

Přestože požadavky na změny, regresní testování a implementaci testovacích případů se týkají množství od jednotek po stovky, nebude na ně nahlíženo jako na jednotlivé testovací případy, nýbrž dávkově jako na samostatné balíky obsahující požadovaný soubor testů dané kategorie. Tím bude umožněno modelovat každý požadavek jako samostatnou entitu v Tecnomatix Plant Simulation. Vstupní požadavek ve formě entity pro tyto pracovní balíky bude doplněn uživatelsky definovaným atributem počet testovacích případů *iTCs*, který bude modelován jako diskrétní náhodná veličina s poissonovým pravděpodobnostním rozdělením. Hindls (2007) uvádí, že poissonovým rozdělením se obecně řídí počet jevů v prostorové jednotce, nebo počet událostí v časové jednotce. Střední hodnota a rozptyl v Poissonově rozdělení jsou rovny parametru λ . Parametry pravděpodobnostního rozdělení λ byly zvoleny následovně:

- regresní test: $\lambda = 700 \text{ TCs} / \text{iterační cyklus}$,
- nová implementace: $\lambda = 5 \text{ TCs} / \text{iterační cyklus}$,
- změnový požadavek: $\lambda = 3 \text{ TCs} / \text{iterační cyklus}$.

Doba potřebná pro zpracování dávky bude modelována jako spojitá náhodná veličina. Podle Jablonského (2007), pokud není možné provést pevný odhad doby trvání činnosti, pak tato doba je náhodná veličina definovaná na intervalu $\langle a, b \rangle$, kde a je nejkratší předpokládaná doba činnosti, b je uvažovaná nejdelší doba trvání činnosti. Skutečná délka činnosti se pak nachází někde uvnitř intervalu. Jablonský (2007) na základě metody PERT definuje pro každou činnost 3 časové charakteristiky:

- a jako nejkratší předpokládaná doba činnosti, tzv. optimistický odhad,
- b jako nejdelší uvažovaná doba trvání činnosti, tzv. pesimistický odhad,
- m jako nejpravděpodobnější doba trvání činnosti, tzv. modální odhad.

PMBOK® guide (2009) v této situaci doporučuje tento 3 bodový odhad aproximovat trojúhelníkovým pravděpodobnostním rozdělením. Toto rozdělení je dostupné i v Tecnomatix Plant Simulation. Parametry tohoto rozdělení pro doby trvání činností byly zvoleny takto, uváděno vždy v pořadí $\langle a, m, b \rangle$:

- regresní test: $\langle 50\text{ s}, 100\text{ s}, 200\text{ s} \rangle / TC$,
- nová implementace: $\langle 1\text{ h}, 2\text{ h}, 4\text{ h} \rangle / TC$,
- změnový požadavek: $\langle 0,5\text{ h}, 1\text{ h}, 2\text{ h} \rangle / TC$.

Doba potřebná ke zpracování vstupního požadavku ve formě pracovního balíku obsahující množství testovacích případů se určí jako součin počtu testovacích případů a doby trvání obsluhy 1 testovacího případu a bude řízena pomocí metody.

Metoda v Tecnomatix Plant Simulation je objekt obsahující skript, kterým je možné řídit jiné objekty jako například *single proces*. Použitým programovacím jazykem je SimTalk (Bangsow, 2010).

Požadavek pro MIL integraci nemá dávkový charakter. Doba potřebná pro zpracování tohoto požadavku bude modelována jako spojitá náhodná veličina s trojúhelníkovým pravděpodobnostním rozdělením s parametry $a = 4\text{ h}$, $m = 8\text{ h}$, $b = 16\text{ h}$. Nastavení potřebné doby zpracování bude probíhat za pomoci metody. Z pohledu teorie systémů hromadné obsluhy se jedná o dobu trvání obsluhy.

Produkční procesy (SingleProc)

Single proces je v Tecnomatix Plant Simulation objekt, který simuluje definovaný produkční proces na základě zadaných charakteristik (Bangsow, 2010).

Simulované procesy *systemového kvalifikačního testu* byly odvozeny z konceptuálního modelu dle hlavních aktérů. Lze je rozdělit do 2 dvou kategorií:

- procesy, které vyžadují přítomnost lidského faktoru,
- procesy, které nevyžadují přítomnost lidského faktoru.

Procesy vyžadující přítomnost lidského faktoru vycházejí z organigramu (viz Obr. 4) a jsou to:

- *MIL integrace*, kde za proces je odpovědný MIL integrátor. V simulačním modelu lze tento *single proces* nalézt vlevo pod názvem *MIL_Intg* (viz Obr. 6).
- *Příprava, implementace a změny testovacích případů*, kde za proces je odpovědný testovací inženýr. V simulačním modelu lze tento *single proces* nalézt vlevo pod názvem *wTCs* (viz Obr. 6).
- *Kontrola kvality výsledků*, kde za proces je odpovědný manažer testování. V simulačním modelu lze tento *single proces* nalézt vpravo pod názvem *wResult_Analysis* (viz Obr. 6).

Tyto procesy výrobního charakteru jsou vykonávány lidmi, proto je u nich nastaven jednosměrný provoz od 8:00 do 16:30 v pracovní dny pomocí prvku *shift calendar*. *Shift calendar* v Tecnomatix Plant Simulation je objekt, který definuje směnový kalendář. Tento prvek se přiřazuje k *single procesům* a řídí jejich nominální provozní čas (Bangsow, 2010). Podle Ptáčka (1996) je hrubý provozní (nominální) čas kalendářní čas snížený o množství času, které vyplývá ze systému práce daného podniku. Je stanoven jako rozdíl mezi kalendářním časem a časem přestávek z důvodu nepracovních dnů (soboty, neděle, svátky), koeficientu směnnosti a plánovaných oprav a prostojů.

Dostupnost pracovníka v pracovní době je stanovena na 75 % pomocí *failures* u objektu *single proces*. Tím jsou zohledněny např. administrativní povinnosti pracovníka. Z pohledu organizace a řízení výroby se jedná o využitelný časový

fond (čistý provozní čas), což dle Ptáčka (1996) je ve výrobní činnosti hrubý provozní čas snížený o neplánované přestávky.

Proces nevyžadující přítomnost lidského faktoru je spuštění a vyhodnocení testovacích případů. Jedná se o počítač s nainstalovaným prostředím pro simulaci vozidla IPG CarMaker. Hrubý provozní čas tohoto procesu je ze své podstaty teoreticky 24 hod denně a 7 dní v týdnu. Čistý provozní čas je dle nastavené dostupnosti 95 %, což zohledňuje např. IT updaty. V simulačním modelu lze tento *single proces* nalézt uprostřed pod názvem *MIL_CM* (viz Obr. 6).

3 Simulace produkčního procesu

3.1 Tvorba modelu a jeho ověření

Simulační model byl vytvořen naprogramováním ve vývojovém prostředí Tecnomatix Plant Simulation 11 od Siemensu (viz Obr. 6). Byl abstrahován na základě konceptuálního modelu z kapitoly 2.1 a parametrizován podle datové analýzy z kapitoly 2.3.

Řízení produktového toku

Řízení produktového toku se děje převážně za použití metod. Mezi *single procesy* jsou vloženy *buffery* a *sortery*, u kterých byla nastavena neomezená kapacita, neboť výstupem z každého jednotlivého procesu je nehmotná informace, která je ukládána do virtuálního prostoru. Nejedná se o nijak velké datové toky, proto lze v dnešní době předpokládat neomezenou kapacitou úložiště. Jak již bylo řečeno, pracovní doba lidského faktoru je řízena pomocí prvků *shift calendar* a je nastavena od 8:00 do 16:30.

Řízení neshodných produktů

Do procesů *kontrola kvality* a *spuštění a vyhodnocení testovacích případů* byla přidána funkcionalita pro generování incidentu pro neshodný produkt, což spočívá v přidání příznaku neshody zpracovávané *entitě* pomocí metody. Přidání příznaku neshody se děje náhodně na vstupu do *single* procesu. Oba jmenované procesy jsou schopné na svém výstupu příznak neshody rozpoznat a kontrolovanou *entitu* vrátit zpět do výrobního systému k opravě. Označení neshodného produktu probíhá pomocí metody, která nastavuje uživatelsky definovaný dvoustavový atribut *bHasIssue* dané *entitě*. Tato metoda je součástí výrobního procesu *kontroly kvality* (*single proces wResult_Analysis*) a procesu *spuštění a vyhodnocení testovacích případů* (*single proces wTCs*). Atribut *bHasIssue* je řízen jako náhodná veličina pomocí pravděpodobnostního rozdělení. Pokud je *bHasIssue* = 1 pak se jedná o neshodný produkt.

Pro MIL integraci je stanovena pravděpodobnost neshodného produktu na 10 % a je předpokládáno řízení pomocí rovnoměrného pravděpodobnostního rozdělení v intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. Funkčnost *MIL integrace* se ověřuje tzv. *smoke testy*, které probíhají v procesu *spuštění a vyhodnocení testovacích případů*. Pokud zavolání

funkce rovnoměrného pravděpodobnostního rozdělení vygeneruje hodnotu nižší než 10 %, pak je MIL integrace vyhodnocena jako neshodná a vrací se zpětnou smyčkou na opravu.

Předtím se ještě stanoví potřebná doba na opravu, která se řídí trojúhelníkovým pravděpodobnostním rozdělením.

Pro *entity* obsahující testovací případy je pro řízení nastavení příznaku neshodnosti předpokládáno binomické rozdělení, které lépe odpovídá charakteru daného jevu. Binomické rozdělení $Bi(n, p)$ má 2 parametry:

- n je počet pokusů neboli velikost vzorku,
- p je pravděpodobnost úspěchu v jednom pokusu neboli je to podíl sledovaného jevu na celku.

Velikost vzorku je dána vždy počtem testovacích případů v dané dávce a podíl neshodných v dávce je předpokládán následovně:

- $p = 0,0005$ pro regresní testy,
- $p = 0,01$ pro nové implementace a pro změnové požadavky.

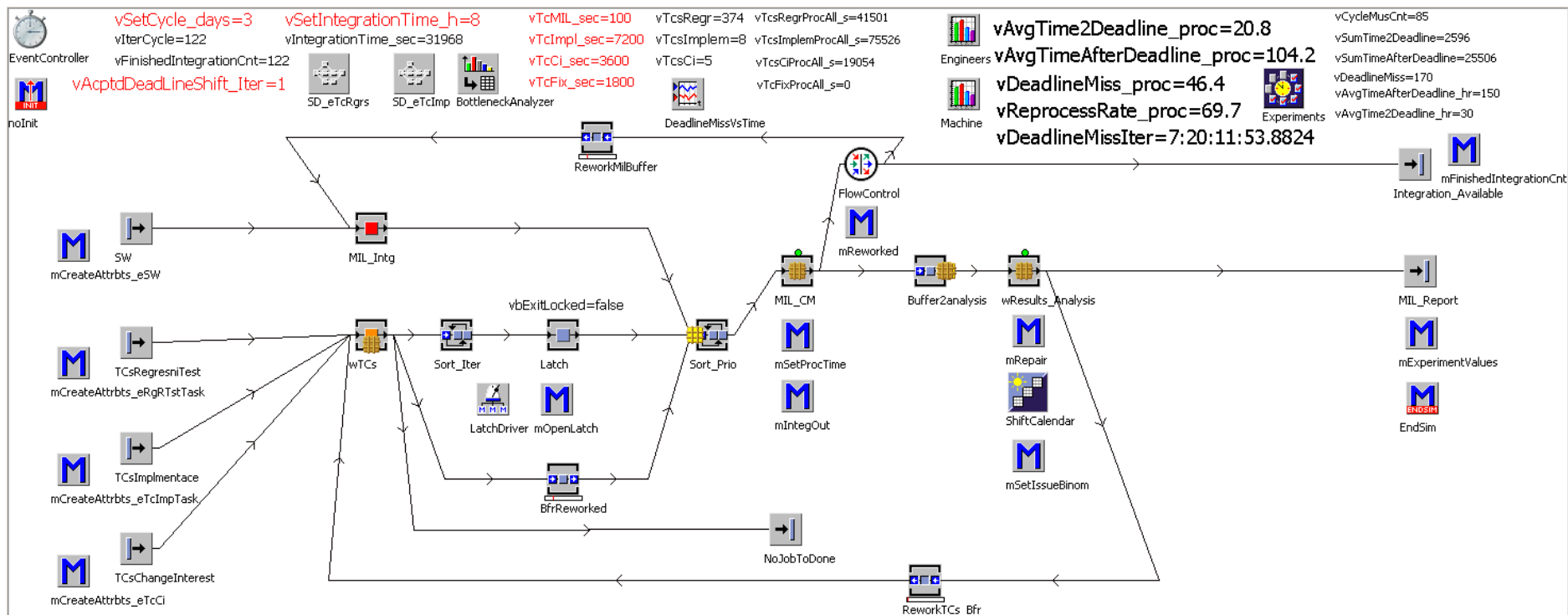
U regresních testů je předpoklad zralosti testovacích případů, proto je pravděpodobnost výskytu neshodného produktu tak nízká. U zbylých se jedná o jejich ranou fázi, kde se předpokládá větší výskyt problémů. Po identifikaci neshodného produktu se stanovuje čas potřebný na opravu, který se opět řídí trojúhelníkovým pravděpodobnostním rozdělením. Poté se neshodný produkt vrací zpětnou smyčkou na opravu do procesu příprava a implementace testovacích případů.

Globální proměnné

Pro účely řízení simulačního experimentu byly zavedeny globální proměnné, které jsou dostupné v hlavním frame a zvýrazněné červenou barvou.

Nastavitelné parametry procesu jako celku:

- *vSetCycle_days*. Délka *iteračního cyklu* ve dnech neboli taktovací perioda *release committee*, kdy jsou do výrobního procesu zaváděny požadavky.



Obr. 6 Simulace v Technomatix Plant Simulation 11

- *vAcptdDeadLineShift_Iter.* Nastavení posunutí uzávěrky pro odevzdání výsledků, jedná se o násobek *iteračního cyklu* čili o kolik *iteračních cyklů* je posunuta uzávěrka dodání test reportu zákazníkovi.

Nastavitelné parametry časových charakteristik generovaných *entit*, jsou spojitě náhodné veličiny a řídí se trojúhelníkovým pravděpodobnostním rozdělením:

- *vTcMIL_sec.* Modální odhad doby trvání v sekundách pro spuštění a vyhodnocení jednoho testovacího případu.
- *vTcImpl_sec.* Modální odhad doby trvání v sekundách pro implementaci nového testovacího případu.
- *vTcCi_sec.* Modální odhad doby trvání v sekundách pro změnový požadavek.
- *vTcFix_sec.* Modální odhad doby trvání v sekundách pro opravu testovacího případu.
- *vSetIntegrationTime_h.* Modální odhad doby potřebné pro *MIL integraci* v hodinách.

Dále byly do simulace zahrnuty následující nástroje pro její analýzu:

- bottleneck analyzer,
- Sankey diagram,
- grafy zobrazující vytíženost jednotlivých procesů a bufferů.

3.2 Zvolené klíčové indikátory výrobního systému

V určitých fázích posuzovacího procesu jsou vhodným nástrojem indikátory. Lze jimi relativně jednoduše a srozumitelně zobrazit složité komplexní jevy bez toho, aniž by bylo třeba aplikovat náročné statistické metody na popisy vazeb a vzájemných souvislostí (Univerzita Karlova, 2021). V uvedeném zdroji jsou „Indikátory výsledkem zpracování a určité interpretace primárních dat (je to druh informace). Nemají smysl samy o sobě, ale v širších souvislostech“. Indikátory musí splňovat řadu kritérií, aby mohli být použitelné. Mezi nejdůležitější kritéria patří např. významnost v dané souvislosti, správnost, reprezentativnost, měřitelnost, pochopitelnost, využitelnost a další (Univerzita Karlova, 2021).

Zvolené indikátory odezvy výrobního systému

Pro účely vyhodnocení odezvy výrobního procesu *systémového kvalifikačního testu* a vzhledem k jeho netypickému charakteru taktování, který vychází z konceptuálního modelu, byly zavedeny následující KPIs:

- *vAvgTime2Deadline_proc.* Poměr průměrného času, kolik ještě zbývalo do uzávěrky u odeslaných výsledků, oproti taktovací periodě *release committee*. Je převeden na procenta.
- *vAvgTimeAfterDeadline_proc.* Poměr průměrného času, kolik činilo zpoždění u zdržených výsledků, oproti taktovací periodě *release committee*. Je převeden na procenta.
- *vDeadlineMiss_proc.* Udává kolik procent produkce z celkového realizovaného objemu se nestihlo dodat v termínu a bylo odesláno po uzávěrce.
- *vReprocessRate_proc.* Udává v procentech realizovanou produkci oproti produkci požadované zákazníkem.
- *vDeadlineMissIter.* Udává okamžik první zmeškané lhůty v rámci simulovaného období. Má rozměr času.

Tyto KPIs jsou průběžně kalkulovány za pomoci metody s názvem *mExperimentValues* a na konci simulace za pomoci metody *mEndSim*. Ukazatelé budou použity pro vyhodnocení experimentu v Tecnomatix Plant Simulation.

Zvolené stavové indikátory výrobního systému

Dále jsou v hlavním frame černou barvou zobrazovány stavové proměnné pro lepší přehled o simulaci:

- *vIterCycle.* Udává kolikátý iterační cyklus *release committee* již proběhl. Jinými slovy indikátor udává informaci o tom, kolikátý pracovní balík je již přítomen ve výrobním systému. Tyto požadavky jsou buď zpracovávány vhodným *single procesem* anebo čekají ve frontě.
- *vFinishedIntegrationCnt.* Udává počet již dokončených *MIL integrací*. Pokud nastane situace, že $vFinishedIntegrationCnt < vIterCycle$, znamená to, že ve výrobním systému jsou již přítomny požadavky, pro které ještě není

připravena *MIL integrace* a nové požadavky musí zbytečně čekat ve frontě, což vede k zahlcování systému.

- *vIntegrationTime_sec*. Udává čas potřebný na zpracování procesu *MIL integrace*. Jedná se o náhodnou veličinu.
- *vTcsRegr*. Udává počet požadovaných regresních testů pro daný iterační cyklus *release committee*. Jedná se o náhodnou veličinu.
- *vTcsImplem*. Udává počet požadavků pro nové implementace testovacích případů. Jsou vztaženy k danému iteračnímu cyklu *release committee*. Jedná se o náhodnou veličinu.
- *vTcsCi*. Udává počet požadavků na změnu testovacích případů pro daný iterační cyklus *release committee*. Jedná se o náhodnou veličinu.

3.3 Simulační experiment

Nejvýznamnějším výstupem simulačního běhu jsou výsledky systematického experimentu, který je nastaven pomocí experiment manageru. Cílem plánovaného experimentu je nalezení kritické propustnosti produkčního systému určením nejnižší možné doby trvání *iteračního cyklu* čili délku časového intervalu mezi po sobě jdoucími událostmi *release committee* tak, aby nedocházelo k výraznému opožďování při plnění požadavků. Pro účely experimentu je nastaven parametr *vAcptdDeadLineShift_Iter* jako konstanta na hodnotu 1. Jinými slovy uzávěrka daného *iteračního cyklu release* pro *committee* je posunuta vždy do konce n+1 iteračního cyklu od dané *release committee*. Tak např. požadavky z týdne 35 mají lhůtu do konce týdne 37.

Pro omezený rozsah této závěrečné práce bude cíleně měněným faktorem v experimentu pouze jedna vstupní proměnná, a to délka výrobního iteračního cyklu *vSetCycle_days*, která bude diskrétně odstupňována v intervalu 17 až 3 dny s dekrementací 1 den.

Odezva systému se bude sledovat pomocí připravených KPIs:

- *vAvgTime2Deadline_proc*,
- *vAvgTimeAfterDeadline_proc*,
- *vDeadlineMiss_proc*,

- *vReprocessRate_proc*,
- *vDeadlineMissIter*.

Experiment bude proveden 20 x pro každou jednotlivou hodnotu vstupní veličiny, tak, aby se projevila náhodná složka vstupních parametrů.

Simulace včetně nastaveného experimentu je součástí modelu vytvořeného v Technomatix Plant Simulation. Nastavení ostatních parametrů výrobního systému pro zamýšlený experiment je vidět na obrázku 7. Červeně značené proměnné jsou nastavitelné, ale pro běh experimentu zůstanou všechny konstantní a neměnné kromě jediné proměnné *vSetCycle_Days*, která experiment bude řídit. Model implementovaný v Technomatix Plant Simulation 11 je přílohou této práce.



Obr. 7 Parametry nastavení modelu procesu systémový kvalifikační test

Začátek simulace byl zvolen na středu 1.9.2021 12:00. To odpovídá okamžiku konání *release committee*. S přihlédnutím k formulovaným cílům byl simulační běh nastaven na 365 dní. V takto zvoleném časovém horizontu se očekává projevení případných nedostatků v simulovaném produkčním systému.

3.4 Ověření výsledků a jejich analýza

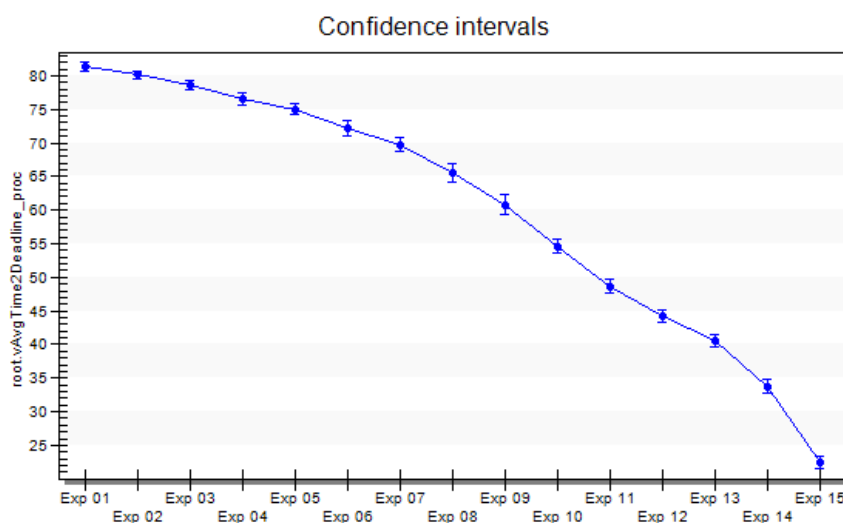
Výsledky běhu definovaného experimentu ukazuje tabulka 1, která zobrazuje hodnoty zkoumaných výstupních veličin odezvy systému na základě hodnoty řízené vstupní veličiny *vSetCycle_Days*. S ohledem na náhodnou složku přítomnou v modelovaném systému se jedná o střední hodnoty. Rozptyly výstupních veličin odezvy systému nejsou v tabulce 1 zahrnuty, protože ve vztahu k cílům této práce nehrají až takový význam, ale v grafu průběhu každé výstupní veličiny odezvy systému budou znázorněny intervaly nejistoty, ze kterých je možné alespoň intuitivně tušit jejich vliv. Dále bude diskutován význam průběhu odezvy modelovaného systému ve vztahu k zadanému cíli z kapitoly 2.2 pro každé KPI.

Tab.1 Výsledky experimentu

Exp	vSetCycle _days	vAvgTime2Deadline _proc	vAvgTimeAfterDeadline _proc	vDeadlineMiss _proc	vReprocessRate _proc	vDeadlineMissIter _days
1	17	81,3%	0,0%	0,0%	99,0%	365
2	16	80,2%	0,0%	0,0%	99,5%	365
3	15	78,7%	0,0%	0,0%	97,7%	365
4	14	76,5%	0,0%	0,0%	96,3%	365
5	13	75,0%	0,0%	0,0%	96,4%	365
6	12	72,2%	1,3%	0,5%	97,9%	344,2
7	11	69,8%	12,0%	1,0%	97,1%	294,0
8	10	65,6%	17,4%	2,6%	98,2%	232,0
9	9	60,8%	39,8%	6,2%	97,7%	144,7
10	8	54,6%	76,4%	9,5%	97,3%	97,3
11	7	48,7%	68,9%	13,1%	93,3%	56,1
12	6	44,3%	45,2%	20,3%	89,3%	32,0
13	5	40,6%	47,9%	26,7%	83,7%	20,3
14	4	33,8%	63,3%	34,2%	77,0%	15,0
15	3	22,5%	90,4%	46,5%	72,0%	10,0

KPI vAvgTime2Deadline_proc

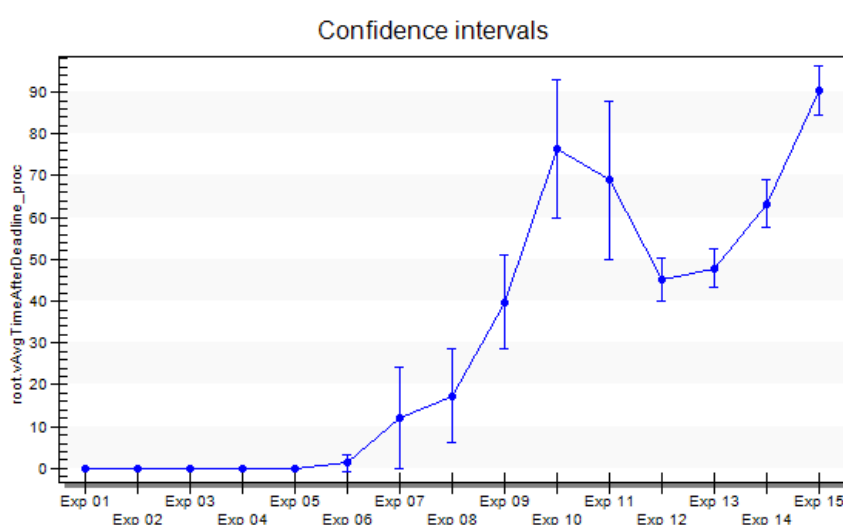
Odezvu sledované veličiny experimentu *vAvgTime2Deadline_proc* ukazuje obrázek 8. Perioda *release committee* diskrétně klesá od 17 ke 3 dnům a s ní klesá i průměrný zbytkový čas do uzávěrky vztažený k délce *iteračního cyklu* u odeslaných splněných požadavků. Průběh veličiny dává intuitivní smysl. V charakteristice není patrný žádný zlom a dochází spíše k pozvolnému skoro až lineárnímu poklesu. Toto KPI se netýká objemu produkce a není možné z něj plně určit okamžik, kdy začne docházet k přehlcení systému.



Obr. 8 KPI vAvgTime2Deadline_proc

KPI vAvgTimeAfterDeadline_proc

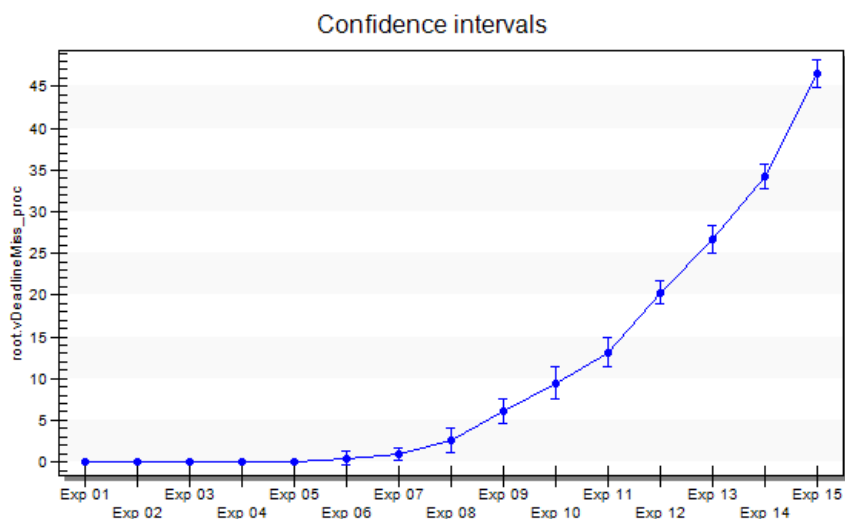
Odezvu sledované veličiny experimentu *vAvgTimeAfterDeadline_proc* ukazuje obrázek 9. Perioda *release committee* klesá od 17 ke 3 dnům a s tím nepřímo úměrně vzrůstá i průměrné zpoždění vztahované k délce *iteračního cyklu* u splněných požadavků odeslaných po uzávěrce. Průběh veličiny dává intuitivní smysl. Od experimentu 9, který odpovídá délce *iteračního cyklu* 9 dní, začíná docházet k výraznějšímu opožďování, ale stále není možné s vyšší mírou jistoty rozhodnout, jestli dochází ke zpoždování statisticky významného objemu produkce anebo pouze několika požadavků.



Obr. 9 KPI vAvgTimeAfterDeadline_proc

KPI vDeadlineMiss_proc

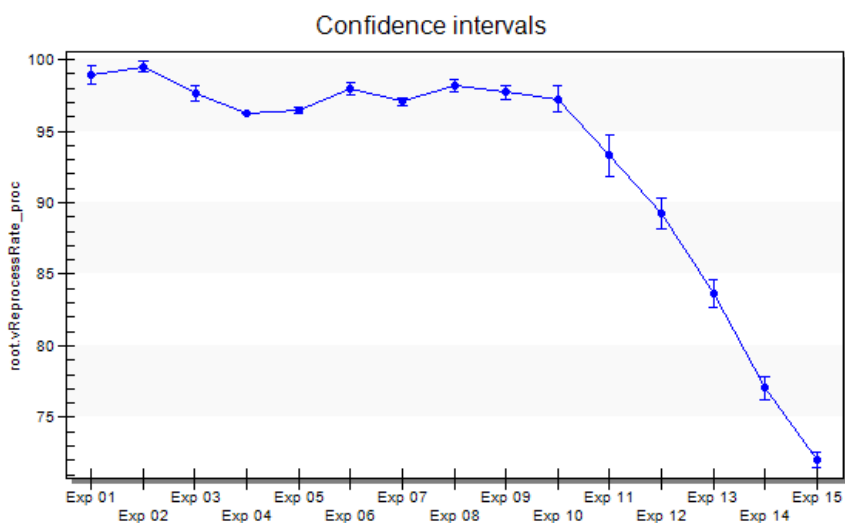
Odezvu sledované veličiny experimentu *vDeadlineMiss_proc* ukazuje obrázek 10. Perioda *release committee* klesá od 17 ke 3 dnům a s ní nepřímo úměrně vzrůstá objem produkce v procentuálním vyjádření, která byla odeslaná po uzávěrce. Průběh veličiny je v souladu s očekáváním. Z průběhu již lze určit moment, kdy začíná docházet k zahlcování produkčního systému. Za tento okamžik se dá považovat experimentální běh 10 odpovídající iteračnímu cyklu 8 dní. Při takto nastaveném iteračním cyklu se v průběhu 1 roku nestihne odeslat v průměru 9,5 % produkce včas. Stanovený cíl je do 10 %.



Obr. 10 KPI vDeadlineMiss_proc

KPI vReprocessRate_proc

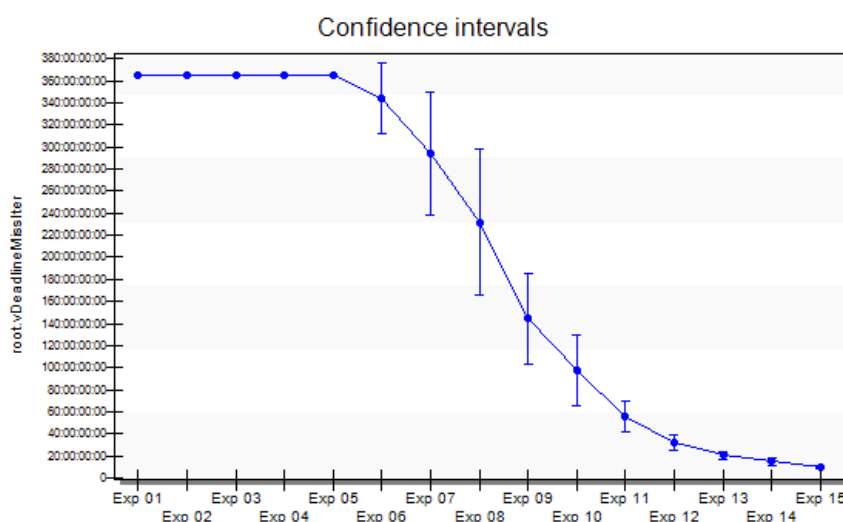
Odezvu sledované veličiny experimentu *vReprocessRate_proc* ukazuje obrázek 11. Perioda *release committee* klesá od 17 ke 3 dnům a tím dochází i ke snižování poměru realizované ku plánované produkci. Doplněk do jedné k tomuto ukazateli říká v procentech, kolik nedokončené produkce zůstalo v systému po 1 roce, tj. po ukončení simulace. Průběh veličiny dává intuitivní smysl a v tomto případě lze stanovit okamžik zlomu, kdy začne docházet k zahlcování produkčního systému. Za tento moment se dá považovat experimentální běh 10 odpovídající iteračnímu cyklu 8 dní. Při tomto nastavení iteračního cyklu se stihne v průběhu 1 roku zpracovat v průměru 97,3 % plánované včas.



Obr. 11 KPI vReprocessRate_proc

KPI vDeadlineMissIter

Odezvu sledované veličiny experimentu *vDeadlineMissIter* ukazuje obrázek 12. Perioda *release committee* klesá od 17 ke 3 dnům a tím dochází i ke snižování datumu prvního překročení uzávěrky. Při dlouhém iteračním cyklu začne k prvnímu opoždění docházet až na konci roku, např. ve dni 344 po zahájení produkce, jak je vidět pro experimentální běh 6. To se dá považovat ještě za nevýznamné, protože se dá předpokládat, že se to bude týkat jenom nízkého množství požadavků. Při krátké délce iteračního cyklu může ke zpoždění dojít již po několika dnech, což odstartuje zpoždování plnění přijatých požadavků a po čase se projeví jejich významnější kumulací. Průběh veličiny je v souladu s očekáváním, ale nelze stanovit okamžik začátku přehlcování výroby, neboť ukazatel nepodává informaci o tom, jak velkého podílu produkce se to týká.



Obr. 12 KPI vDeadlineMissIter

3.5 Shrnutí dosažených výsledků

Na základě výsledků experimentu lze nyní rozhodnout otázku jakou variantu vybrat, aby došlo k maximalizaci využití procesu systémový kvalifikační test pomocí nastavitelného parametru perioda *release committee*, tj. určit nejnižší možnou délku iteračního cyklu, tak aby nedocházelo ke statisticky významnému překračování termínu uzávěrky. Tato míra je v kapitole 2.2 stanovena na 10 % objemu produkce, která může být zpožděna

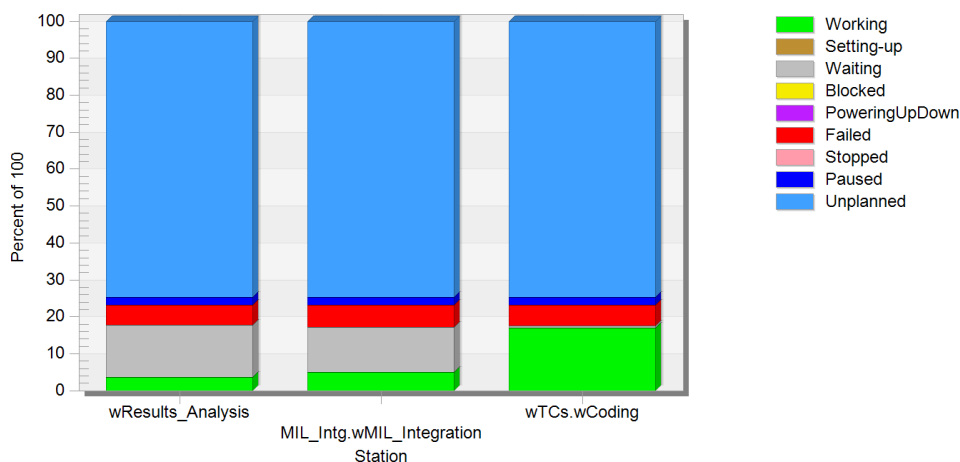
Heuristika rozhodování

Stanovení tohoto okamžiku bude provedeno za použití heuristiky využívající sledování průběhu definovaných indikátorů. Podle Puškina (1974) je heuristika postupem, který zkracuje výběr varianty nebo také synonymum pro umění objevovat. Výsledek heuristiky bude základem pro rozhodnutí o hledaném okamžiku. Puškin (1974) říká, že rozhodování je kompromisem, při kterém musíme uvážit hodnotu, což podle něj znamená posouzení ekonomických faktorů, posouzení technické účelnosti a vědecké nutnosti a v neposlední řadě i uvážení společenských a čistě lidských faktorů a dále Puškin (1974, str. 78) dodává, že „rozhodnout se správně, znamená vybrat takovou alternativu ze všech možných, v níž budou respektovány všechny tyto různorodé faktory a současně bude optimalizována celková hodnota“.

Experimentálně bylo odhaleno, že v daném produkčním systému bude ke zpoždění produkce docházet téměř vždy. Důvodem je zahrnutí náhodných jevů. Při znalosti této informace ji lze např. zakotvit a ošetřit ve smlouvě s odběratelem, tak aby nedocházelo k poškozování žádné strany. Nebo ji lze využít pro finanční plánování a s předstihem zajistit objem finanční rezervy pro případné odškodnění protistrany.

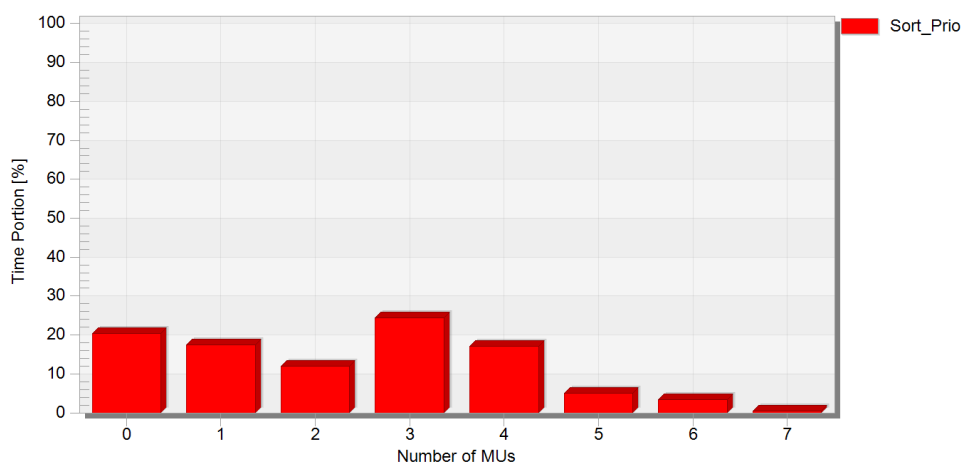
Na základě průběhu nedefinovaných ukazatelů se intuitivně jeví pro vstup požadavků do produkčního systému optimální perioda 8 dní odpovídající experimentálnímu běhu 10 (viz Tab. 1). Při takto zvolené periodě *release committee* a uzávěrce nastavené na $n+1$ iteraci, bude dle tabulky 1 zpožděno v průměru 9,5 % celkového objemu produkce (viz KPI *vDeadlineMiss_proc*), což je v souladu se stanoveným cílem 10 %. Každý *test report* dodaný před uzávěrkou bude mít v průměru rezervu 54,6 % oproti plánu (viz KPI *vAvgTime2Deadline_proc*), což je okolo 9 dní. Ve výrobním systému dochází vždy i ke zpoždění produkce, proto každý *test report* dodaný po uzávěrce bude opožděn v průměru o 76,4 % oproti plánu (viz KPI *vDeadlineMiss_proc*), což je okolo 12 dní. V rámci simulovaného období 365 dní se stačí dokončit v průměru 97,3 % plánované produkce (viz KPI *vReprocessRate_proc*) a první překročení uzávěrky nastane v průměru okolo 97 dne po zahájení produkce (viz KPI *vDeadlineMissIter*).

Spuštěním simulace s nastavenou periodou release committee 8 dní lze získat podrobnější informace o využití produkčních procesů (viz Obr. 13). Nejvíce využívaný proces s lidskými zdroji je výrobní proces *wCoding* odpovídající testovacímu inženýrovi (viz Obr. 13). Využití tohoto procesu je 100 % jeho čistého pracovního času, což může být indikací problému, např. úzkého místa.



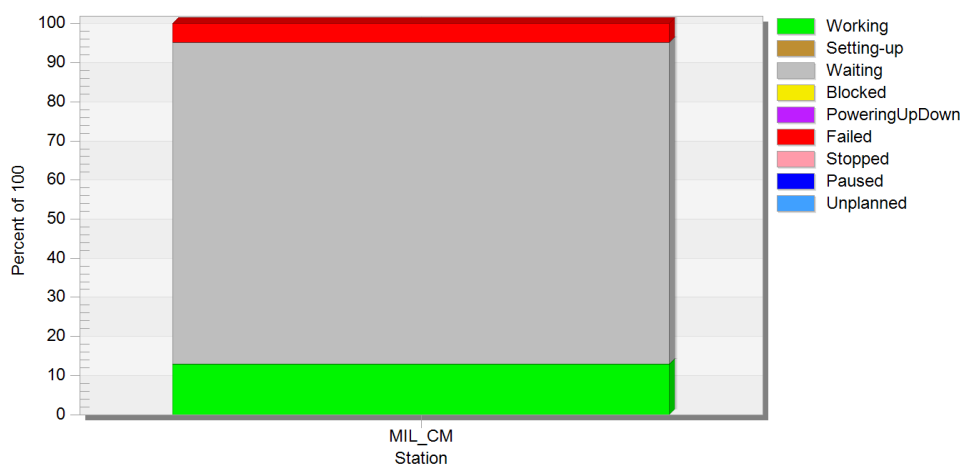
Obr. 13 Využití lidských zdrojů

Obrázek 14 představuje obsazenost bufferu před procesem *wCoding*, který je obsluhován testovacím inženýrem. Fronta požadavků čekajících na zpracování testovacím inženýrem dosahuje až 7 požadavků. Tato informace také potvrzuje výskyt úzkého místa u testovacího inženýra. Na základě znalosti této informace by bylo vhodné zvážit přijetí možného opatření na jeho odstranění, např. umožnit paralelizaci přijetím dalšího testovacího inženýra.



Obr. 14 Obsazenost bufferu před testovacím inženýrem

Obrázek 15 ukazuje využití procesu bez lidského faktoru, kde automatizovaně probíhá spuštění a vyhodnocení testů. Při zvolené periodě *release committee* 8 dní, lze toto místo z pohledu přetěžování považovat za nízkorizikové. Na základě znalosti této skutečnosti, je možné, jedná-li se o sdílený výpočetní server, ho např. sdílet pro další výpočetní úlohy.



Obr. 15 Využití zdrojů bez lidského faktoru

Závěr

Cílem práce bylo identifikovat a poté namodelovat a nasimulovat produkční proces testování asistenčních systémů řidiče a na základě zavedených nastavitelných parametrů najít za pomoci experimentu takové jejich nastavení, které by umožnilo maximalizovat využití produkčního procesu za předpokladu zachování jeho stability, přičemž stabilitou se mělo na mysli nepřekračovat v míře vyšší než stanovené lhůtu plnění požadavků.

Čtenáři byl nejprve představen význam integrovaného elektronického systému v automobilu, aby se následně přešlo k popisu jeho vývoje. Vývoj elektronického systému je obecně upraven standardem ASPICE, který byl stručně představen v míře potřebné pro účely této práce. Poté byl představen proces *systémový kvalifikační test*, který v této práci hrál klíčovou roli. Tento proces se stal předmětem produkčně-logistického modelování, neboť jak bylo ukázáno, podobá se svým charakterem klasickému produkčnímu procesu, který probíhá v běžné továrně. Tímto okamžikem došlo k rozlišení procesu *systémový kvalifikační test* z oblasti vývoje od produkčního procesu z oblasti výroby. Po stručném představení normy VDI 3633, která se zabývá simulacemi výrobních systémů, došlo k sestavení konceptuálního modelu produkčního procesu systémového kvalifikačního testu z ADAS oblastí. Podle metodiky z normy VDI 3633 byl z konceptuálního modelu abstrahován a naprogramován simulační model v Tecnomatix Plant Simulation, ve kterém byl připraven experiment, jehož výsledek posloužil jako vodítko k lepšímu porozumění zkoumaného výrobního systému a na jehož základě došlo k posouzení vhodného nastavení parametru perioda *release committee*, tak aby nedocházelo k zahlcování tohoto systému při jeho provozu. Dále bylo identifikováno úzké místo. Lze konstatovat, že zadaného cíle bylo dosaženo.

Simulace odhalila, že modelovaný produkční proces je pro účely optimalizace multidimenzionálním problémem. Jako následující krok k ještě hlubšímu porozumění by bylo provedení kompletního faktoriálního experimentu a identifikování významných vlivových faktorů, aby mohlo dojít k ještě lepší optimalizaci systému vůči zvoleným kritériím.

Jedním z přínosů této práce je prokázání toho, že procesy z oblasti automobilového vývoje vykazují pro své plánování, analýzu, optimalizaci a řízení silnou podobnost

s produkčními procesy, a proto je lze úspěšně modelovat za pomoci nástrojů pro analýzu klasických továren.

Seznam literatury

Automotive SPICE. *Automotive SPICE Process Assessment / Reference Model*. Version 3.0. VDA QMC, 2015, 132 s.

BANGSOW, Steffen. *Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk: Usage and Programming with Examples and Solutions*. 1. Berlin: Springer-Verlag, 2010. ISBN 978-3-642-05073-2.

CHITKARA, Raman, Werner BALLHAUS, Bernd KLIEM, Stan BERINGS a Boris WEISS. *Spotlight on Automotive PwC Semiconductor Report* [online]. PwC, 2013, 22 [cit. 2021-06-13]. Dostupné z: https://www.pwc.de/de/automobilindustrie/assets/semiconductor_survey_interactive.pdf

HINDLS, Richard. *Statistika pro ekonomy*. 8. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN isbn978-80-86946-43-6.

IPG Automotive. *IPG CarMaker* [online]. Karlsruhe: IPG Automotive [cit. 2021-12-06]. Dostupné z: <https://ipg-automotive.com/en/products-solutions/software/carmaker/>.

ISTQB. *ISTQB Glossary* [online]. ISTQB, 2021. [cit. 2021-6-15]. Dostupné z: <https://glossary.istqb.org/en/term>

JABLONSKÝ, Josef. *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 3.vyd.Praha: Professional Publishing, 2007.ISBN 978-80-86946-44-3.

NENADÁL, Jaroslav. *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody*. Praha: Management Press, 2008. ISBN isbn978-80-7261-186-7.

PMBOK® guide. *A guide to the project management body of knowledge*. 5th ed. Newtown Square: Project management institute, c2013. ISBN 978-1-935589-67-9.

PTÁČEK, Stanislav. *Organizace metalurgické výroby*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1996. ISBN 80-7078-321-4.

PUŠKIN, Veniamin Nojevič. *Psychologie a kybernetika*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1974. Knižnice psychologické literatury.

STAŠ, David. *Organizace a řízení výroby pro prezenční a kombinovanou formu studia*. Mladá Boleslav: Škoda Auto Vysoká škola, 2017. ISBN 978-80-87042-67-0.

TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ. *Integrované řízení výroby: od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci*. Praha: Grada, 2014. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4486-5.

Univerzita Karlova. *Oddělení indikátorů environmentální udržitelnosti*. Co jsou to indikátory [online]. Praha: UK, 2021 [cit. 2021-12-06]. Dostupné z: <https://www.czp.cuni.cz/czp/index.php/cz/o-centru1/oddeleni-indikatoru-environmentalni-udrizitelnosti/12-co-jsou-to-indikatory>

VDI 3633. *VDI-Handbuch Materialfluss und Fördertechnik*. Berlin: VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik, 2008.

WITTER, Frank. *Leading the Transformation.: Investor Conference Call with Sociétés Générale, 23 March 2020* [online]. Volkswagen, 2020, 42 [cit. 2021-06-13]. Dostupné z: https://www.volkswagenag.com/presence/investorrelation/publications/presentations/2019/03_march/3_CMD_Witter.pdf

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1 Podíl nákladů na vývoj a výrobu integrovaných elektronických systémů v novém automobilu	8
Obr. 2 ASPICE procesní referenční model.....	10
Obr. 3 ASPICE V-model.....	11
Obr. 4 Organigram procesu systémový kvalifikační test.....	24
Obr. 5 Konceptuální model procesu systémový kvalifikační test.....	26
Obr. 6 Simulace v Technomatix Plant Simulation 11.....	34
Obr. 7 Parametry nastavení modelu procesu systémový kvalifikační test.....	38
Obr. 8 KPI vAvgTime2Deadline_proc.....	39
Obr. 9 KPI vAvgTimeAfterDeadline_proc	40
Obr. 10 KPI vDeadlineMiss_proc	41
Obr. 11 KPI vReprocessRate_proc	41
Obr. 12 KPI vDeadlineMissIter	42
Obr. 13 Využití lidských zdrojů	44
Obr. 14 Obsazenost bufferu před testovacím inženýrem	44
Obr. 15 Využití zdrojů bez lidského faktoru	45

Seznam tabulek

Tab.1 Výsledky experimentu	39
----------------------------------	----

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Martin Klíma		
STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE	6208R186 Podniková ekonomika a řízení provozu, logistiky a kvality		
NÁZEV PRÁCE	VYUŽITÍ POČÍTAČOVÉ SIMULACE PRO MODELOVÁNÍ PRODUKČNÍCH PROCESŮ VE VÝVOJI AUTOMOBILOVÝCH SYSTÉMŮ		
VEDOUCÍ PRÁCE	doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.		
KATEDRA	KRVLK - Katedra řízení výroby, logistiky a kvality	ROK ODEVZDÁNÍ	2021
POČET STRAN	52		
POČET OBRÁZKŮ	15		
POČET TABULEK	1		
POČET PŘÍLOH	0		
STRUČNÝ POPIS	<p>Tato práce se zabývá simulací procesu testování asistenčních systémů řidiče z produkčního pohledu. Cílem této práce je ukázat, že je možné simulovat proces z oblasti vývoje automobilových systémů jako produkční proces za přispění nástrojů používaných pro simulaci běžných továrních provozů.</p> <p>V teoretické části je představen proces vývoje automobilového elektronického integrovaného systému z pohledu jeho samotného a poté z pohledu produkčního. Je představena norma ASPICE a VDI 3633.</p> <p>V praktické části je sestaven konceptuální model produkčního procesu, který je poté naprogramován v Tecnomatix Plant Simulation. Na základě připraveného experimentu je modelovaný systém zhodnocen.</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA	Simulace, model produkčního systému, proces, systém, ADAS, elektronické integrované systémy, výroba, experiment, analýza produkčního procesu		

ANNOTATION

AUTHOR	Martin Klíma		
FIELD	6208R186 Business Administration and Operations, Logistics and Quality Management		
THESIS TITLE	THE USE OF COMPUTER SIMULATION FOR MODELLING PRODUCTION PROCESSES IN THE DEVELOPMENT OF AUTOMOTIVE SYSTEMS		
SUPERVISOR	doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.		
DEPARTMENT	KRVLK - Department of Production, Logistics and Quality Management	YEAR	2021
NUMBER OF PAGES	52		
NUMBER OF PICTURES	15		
NUMBER OF TABLES	1		
NUMBER OF APPENDICES	0		
SUMMARY	<p>This thesis deals with the simulation of the process of testing driver assistance systems from a production perspective. The aim of this thesis is to show that it is possible to simulate a process from the field of automotive systems development as a production process with the contribution of tools used to simulate common factory production operation.</p> <p>In the theoretical part, the process of automotive electronic integrated system development is presented from the perspective of the system itself and then from the production perspective. The ASPICE standard and VDI 3633 are introduced.</p> <p>In the practical part, a conceptual model of the production process is built, which is then programmed in the Tecnomatix Plant Simulation. Based on the prepared experiment, the modelled system is evaluated.</p>		
KEY WORDS	Simulation, production process model, process, system, ADAS, electronic integrated systems, manufacturing, experiment, analysis, production process		