

Univerzální simulační model obecného výrobního úseku

Jiří Štoček, Jiří Hloska

Jednou z časově i odborně náročných fází realizace simulační studie je tvorba simulačního modelu. Přes snahu tento proces automatizovat [1] a tím i urychlit byla doposud vyvinuta řešení, která většinou nelze využít obecně bez ohledu na předmět simulace (typ výrobního systému nahrazovaného modelem). Tyto automatizační mechanismy se spíše zaměřují na samotnou práci v simulačním prostředí (software), kde je snahou nahradit opakované rutinní činnosti algoritmem, který vykoná (část) sestavení simulačního modelu automaticky. Alternativní přístup prezentuje tento příspěvek, který pojednává o simulačním modelu umožňujícím na základě vhodné parametrizace rekonstruovat v simulačním prostředí materiálový tok, jehož charakteristiky mohou mít libovolný tvar a hodnoty.

Universal simulation model of a general production section: One of the phases within realization of a simulation project is the creation of simulation model itself. Despite the effort to automate [1] and thus accelerate this process, so far, solutions have been developed, which usually cannot be generally applied regardless of the subject of simulation (type of the production system which is to be imitated by the model). These automation mechanisms are more focused on the use of the particular simulation software while trying to replace routine repetitive activities by an algorithm which accomplishes (part of) the creation of the simulation model automatically. An alternative approach is presented in this article, which deals with a simulation model that allows to reconstruct material flow (simulated by the use of a suitable software) of arbitrary form and readings of its characteristics based on appropriate parameterization.

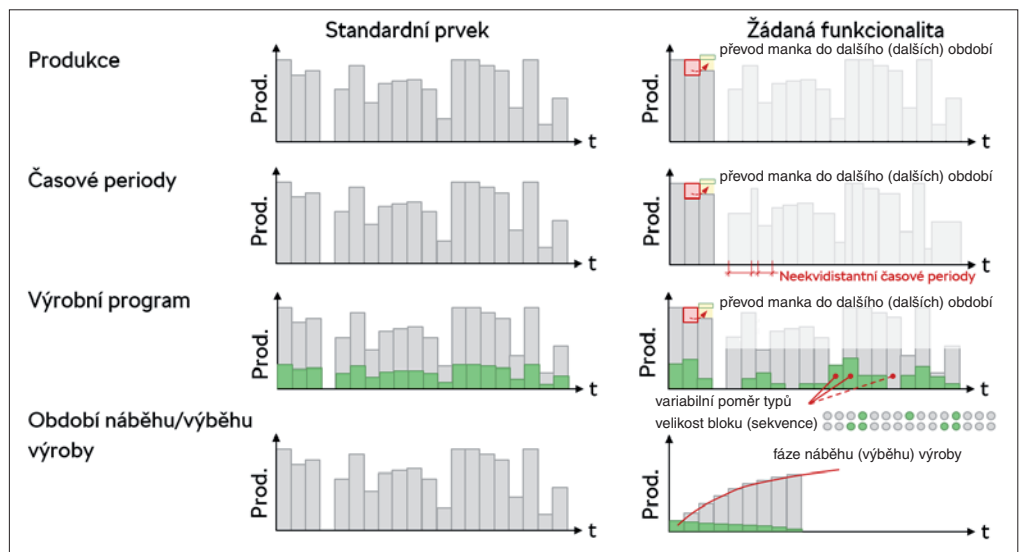
vedení simulačních experimentů a zpracování jejich výsledků [3]. Navíc takový model často není univerzální, a tudíž ani opakovatelně využitelný v příštích projektech.

Řešením tohoto problému je vytvoření simulačního modelu, jehož pouhou parametrizací (nikoliv úpravou struktury) lze dosáhnout ve značném rozsahu změn chování, které ve smyslu validace odpovídají požadovaným parametrům materiálového toku, resp. impulzů (např. odvolávek materiálu). Stejně jako první otázka při realizaci simulační studie zjišťuje, zda je vůbec metoda simulace vhodným přístupem k řešení problému, i v případě návrhu popisovaného modelu byl nejprve proveden kritický rozbor dostupných funkcí základních prvků použitého simulačního softwaru (*Plant Simulation*) s ohledem na dosažitelnost variability jejich chování.

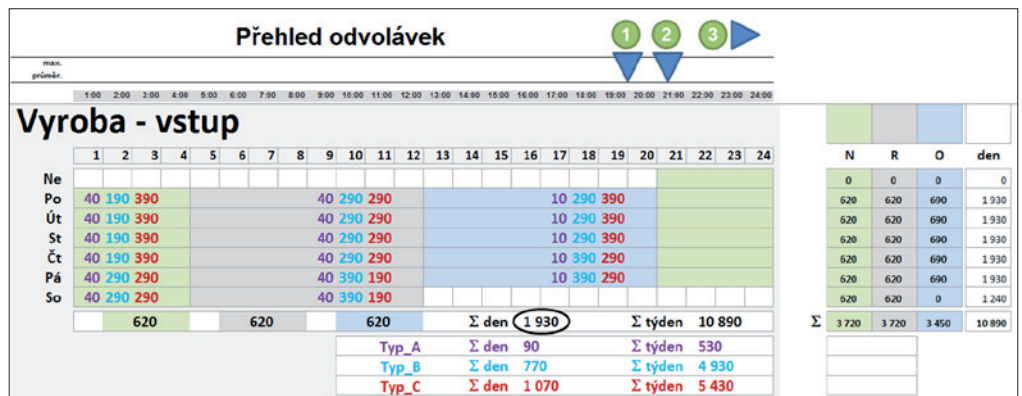
1. Úvod

Často řešená úloha, a to nejen v automobilovém průmyslu, který patří mezi průkopníky ve využití simulace materiálového toku a v inovacích přístupů k němu (za účelem optimalizace testovaných výrobních a logistických procesů), je posouzení nutné kapacity pro mezioperační zásoby oddělující technologické úseky (typicky svařovnu, lakovnu a montáž) a také ověření náběhových a výběhových scénářů, kdy je v průběhu času plynule měněn výrobní program (vzájemný podíl typů výrobků, které vyžadují odlišné technologické postupy, řídí se jinou logikou materiálového toku, směnovým režimem výroby atd.) [2]. Obvykle je nutné posoudit desítky až stovky scénářů, které se liší v zásadních parametrech – vyjádřitelných numericky, jako jsou plán výroby, směnový režim v jednotlivých výrobních úsecích či technologické časy (coby funkce typu výrobku pro každou operaci), nebo v parametrech logických, jako jsou pravidla řízení materiálového toku a další.

Vytvářet detailní simulační model, který zohlední veškeré tyto parametry, je možné, avšak často nevyhovující vzhledem k časovému rámci vyhrazenému pro pro-



Obr. 1. Přehled rozsahu parametrizace standardního prvku a požadovaných funkcí



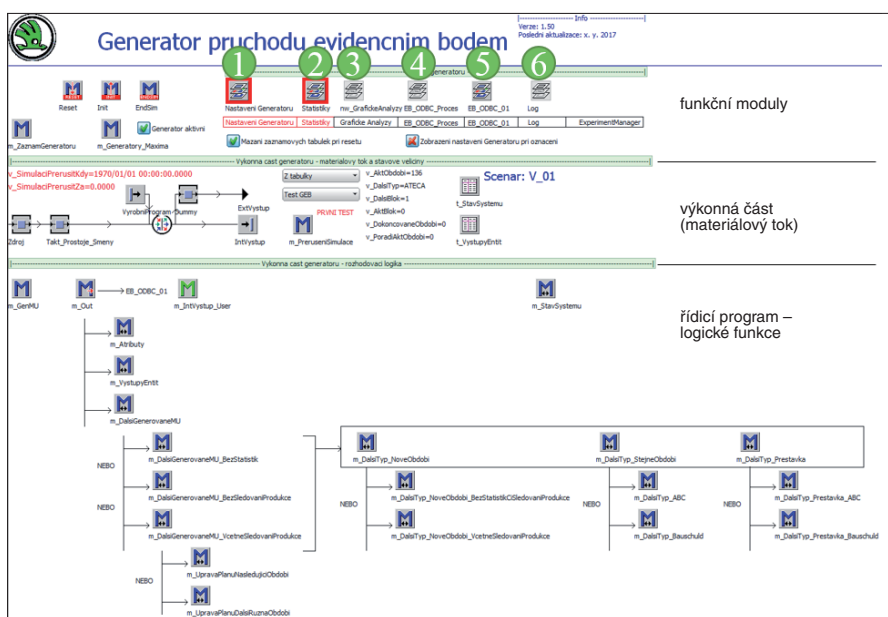
Obr. 2. Prostředí pro parametrizaci generovaného materiálového toku vyvinuté v MS Excel

2. Požadavky na univerzální simulační model

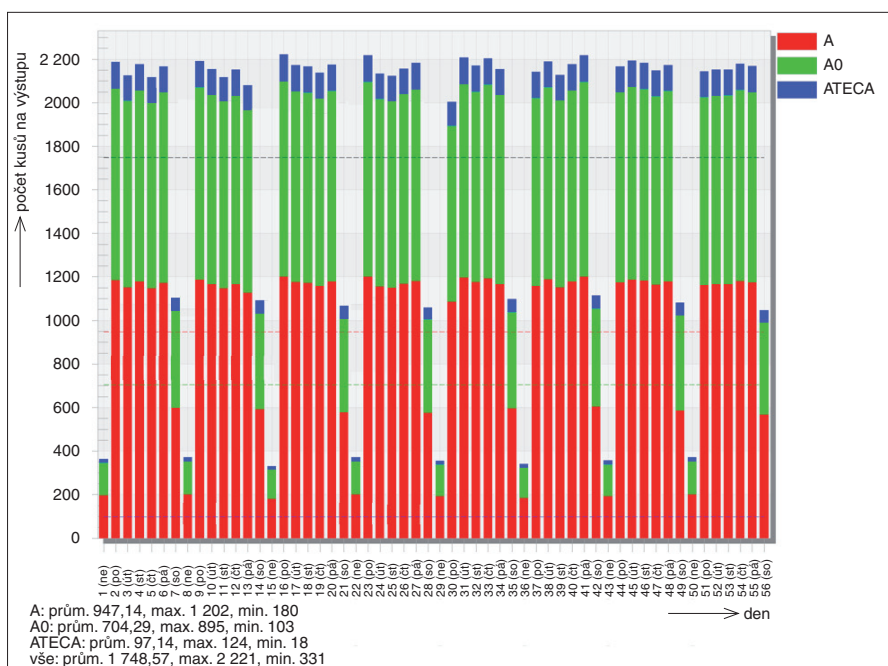
Standardní prvek *source* pro generování entit, jež reprezentují jednotky (diskrétního) materiálového toku v prostředí Plant Simulation, umožňuje variabilní parametrizaci, díky které jsou typy entit materiálu generovány podle pevného výrobního programu, náhodně nebo cyklicky, a to v konstantních či (pseudo)náhodných časových intervalech, popř. podle přesně stanoveného harmonogramu. Nevýhodou je relativně nesnadná parametrizace v případě komplexních scénářů, které navíc mají zahrnovat např. dodržení směnových režimů, korekci podle dosažené produkce v definovaných časových intervalech vzhledem k zohlednění náhodných prostojů atd. Na obr. 1 jsou zachyceny jednotlivé požadavky na takovou funkci (vpravo) v porovnání se standardním řešením (vlevo).

Dosažení těchto požadavků bylo řešeno ve dvou krocích. Prvním byl vývoj v prostředí Microsoft Excel, jehož výsledkem je šablona, podle níž je možné nejen přehledně nastavovat všechny parametry týkající se požadovaného způsobu generování materiálového toku, ale také validovat správnost a konzistenci zadáných parametrů. Uživateli tak ještě před převodem parametrů do prostředí Plant Simulation (mezi softwarem Plant Simulation a editorem Microsoft Excel je standardní komunikační rozhraní) získá grafický náhled, díky kterému lze snadněji validovat správnost následných výstupů simulačního modelu (obr. 2).

Druhým krokem byl návrh a implementace konceptu v prostředí Plant Simulation. Hlavním požadavkem byla modularita univerzálního modelu. Vytvořený model tedy obsahuje šest modulů (viz číselné označení na obr. 3), z nichž pouze první dva jsou nezbytnou komponentou modelu, neboť zajišťují veškeré funkce spojené s parametrizací a statistickým sledováním dosahované produkce v průběhu simulace. Při aktivaci modulu 3 jsou za běhu k dispozici grafické charakteristiky materiálového toku, které usnadňují validaci modelu, resp. jeho požadovaného nastavení. Příklad těchto grafických analýz včetně vysvětlení informační hodnoty grafů je na obr. 4 až obr. 6. Rovněž moduly 4 a 5 jsou využitelné zejména ve fázi verifikace modelu s danými parametry. Zaznamenávají generované impulzy, které je následně možné vhodným nástrojem analyzovat a výsledné hodnoty porovnávat s požadovaným nastavením [4], [5]. Modul 6 je určen k průběžnému záznamu veškerých událostí v simulačním modelu. Při validaci modelu byl využit ve fázi ladění. Ponechán byl pro případné budoucí rozšíření modelu o další funkce, kdy bude opět nutné model odladit. Funkce modulů 3 až 6 je založena na tzv. instrumentaci modelu, tedy na rozšíření programu logického řízení o možnost záznamu provedení příslušných příkazů.



Obr. 3. Modulární struktura univerzálního simulačního modelu



Obr. 4. Počty typů na výstupu v jednotlivých dnech

3. Další usnadňující funkce

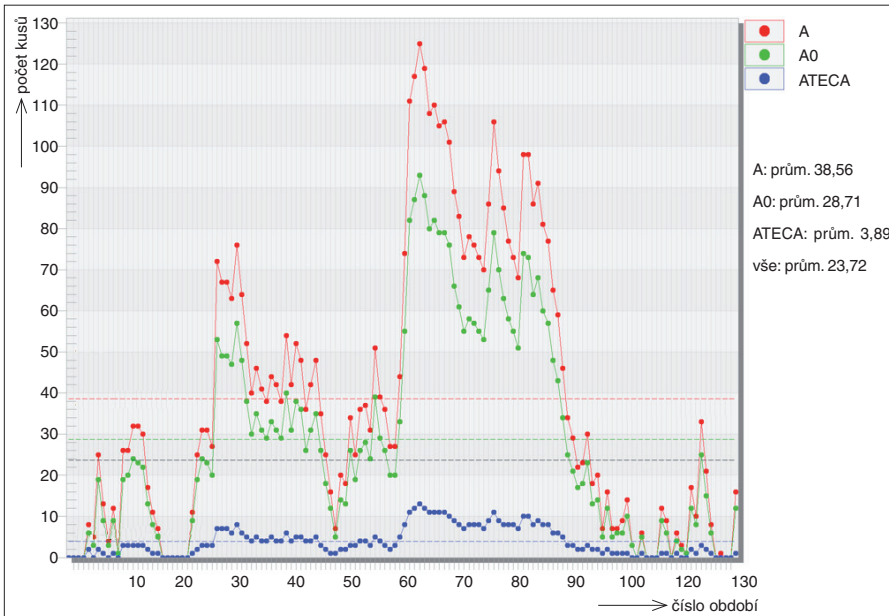
Výrazným usnadněním práce se simulačním modelem je využití již zmíněného parametrizačního prostředí v MS Excel. Pokud jde o parametrizaci, umožňuje navíc model ukládat neomezený počet alternativních scénářů, z nichž každý je reprezentován nejen parametry vztahujícími se k požadované produkci entit materiálového toku (či generování impulzů), ale také dalšími parametry nastavení modelu, jako jsou zejména:

- využitelnost (v procentech) a střední doba trvání prostojů;
- způsob zohlednění deficitu nebo přebytku, jichž bylo dosaženo náhodnými prostoji vykazujícími odchylku od stanovených

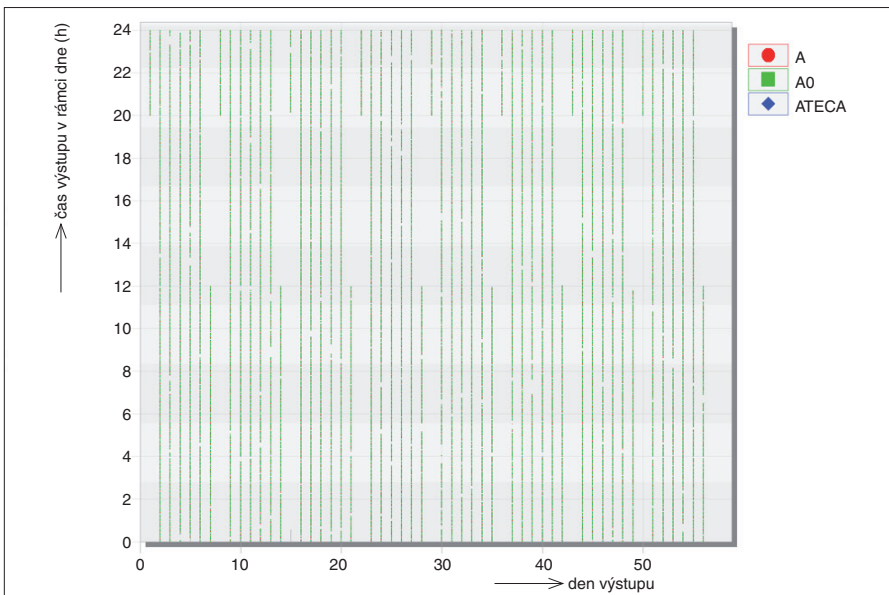
parametrů využitelnosti a střední doby trvání, kdy:

- deficit (přebytky) nejsou korigovány,
- deficit je kompenzován v následujícím období navýšením původního plánu produkce – se zohledněním deficitního typu a jeho zařazení do výrobního plánu nadcházejícího období či bez ohledu na ně;
- tvorba sekvence při stanovení několika typů ve výrobním programu;
- způsob navazování produkce v následujícím období s ohledem na poslední typ předchozího období.

Nastavitelné je rovněž využití či deaktivace jednotlivých modulů (viz předchozí kapitola), stejně jako možnost deaktivace celého modelu jako instance vložené coby díl-



Obr. 5. Přehled manka oproti plánované produkci v jednotlivých obdobích



Obr. 6. Přehled časového profilu instancí na výstupu

čí model do celkového simulačního modelu určitého výrobního systému. I to jsou parametry, jejichž hodnoty lze zvolit v alternativních scénářích.

Mezi jednotlivými scénáři je možné volit s využitím volně programovatelného uživatelského rozhraní (v prostředí Plant Simulation) – viz obr. 7. Parametry lze rovněž kopírovat z jednoho simulačního modelu do jeho dalších instancí v prostředí Plant Simulation pouhým přetažením (*drag and drop*). Odpadá tak relativně zdlouhavý proces nastavení hodnot veškerých parametrů.

4. Využití v simulačních projektech

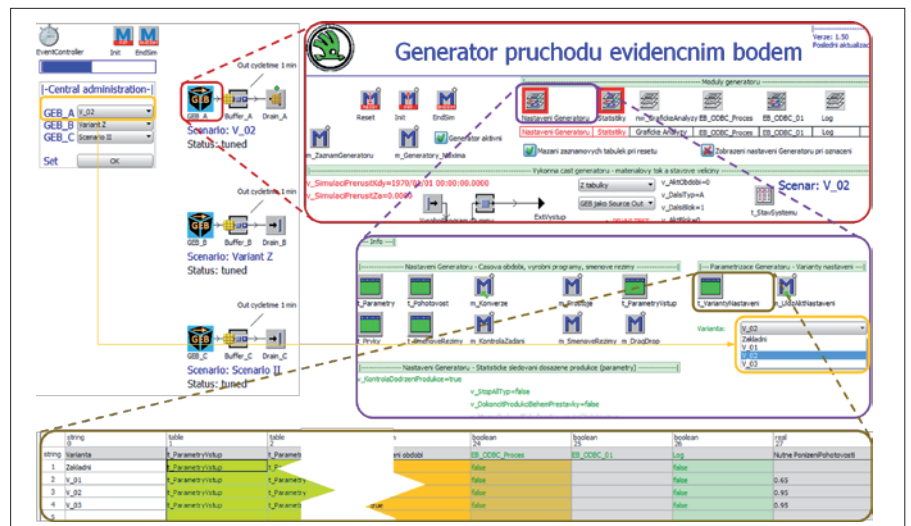
Vytvořený simulační model lze univerzálně využít jako dostatečnou náhradu, která zastupuje detailní model materiálového toku v určitém výrobním úseku. Již bylo nazna-

čeno, že v automobilovém průmyslu jsou těmito úseky typicky oblast svařoven, lakoven a montážních hal. Schéma na obr. 8 ukazuje, že z pohledu materiálového toku, resp. jeho řízení podle určité logiky, je přípustná náhrada celého systému v místech tzv. evidenčních bodů, ve kterých je materiál při průchodu zaznamenán (přičemž záznamy mohou být následně analyzovány). Více o evidenčních bodech pojednává [4]. Vyvinutý model rovněž může namísto elementů materiálu v prostředí simulačního softwaru generovat signály, které lze využít pro spuštění příkazů řídicích materiálový tok (prostřední část schématu).

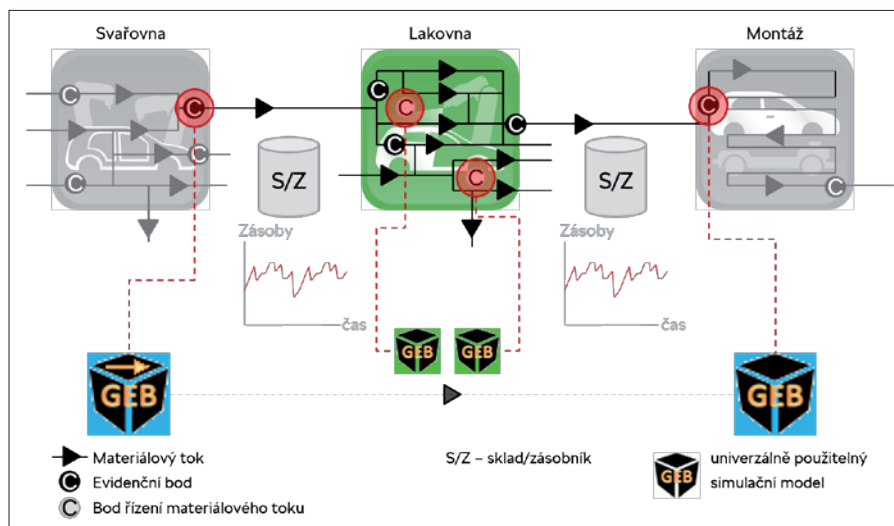
Ve smyslu tohoto principu byly v reálném projektu (simulační studie) nahrazeny detailní simulační modely úseků svařoven a montáží instancemi vyvinutého univerzálního simulačního modelu (obr. 9). Tyto instance generují elementy materiálového toku na straně svařoven a naopak vydávají signály pro vstup příslušných elementů (představujících karoserie) do oblasti montáže. Instance popisovaného modelu, řešené jako detailní simulační model na úrovni dopravníkové techniky, jsou rovněž použity v oblasti lakovny. V tomto případě je jejich úkolem změna logiky řízení simulovaného materiálového toku lakovnou v určitých časových okamžicích.

5. Závěr

Článek pojednává o univerzálním simulačním modelu, který dovoluje pomoci vhodné parametrizace rekonstruovat v simulačním prostředí materiálový tok, jehož charakteristiky mohou mít libovolný tvar a hodnoty. Detailní simulační model je tak možné nahradit jednodušší formou, která poskytuje dostatečnou přesnost charakteristik materiálového toku, resp. signálů pro řídicí logiku. Vyvinutý simulační model navíc obsahuje mnoho užitečných funkcí usnadňujících jeho nastavení, jako je rozhraní pro parametrizační tabulku v MS Excel nebo možnost zadat neomeze-



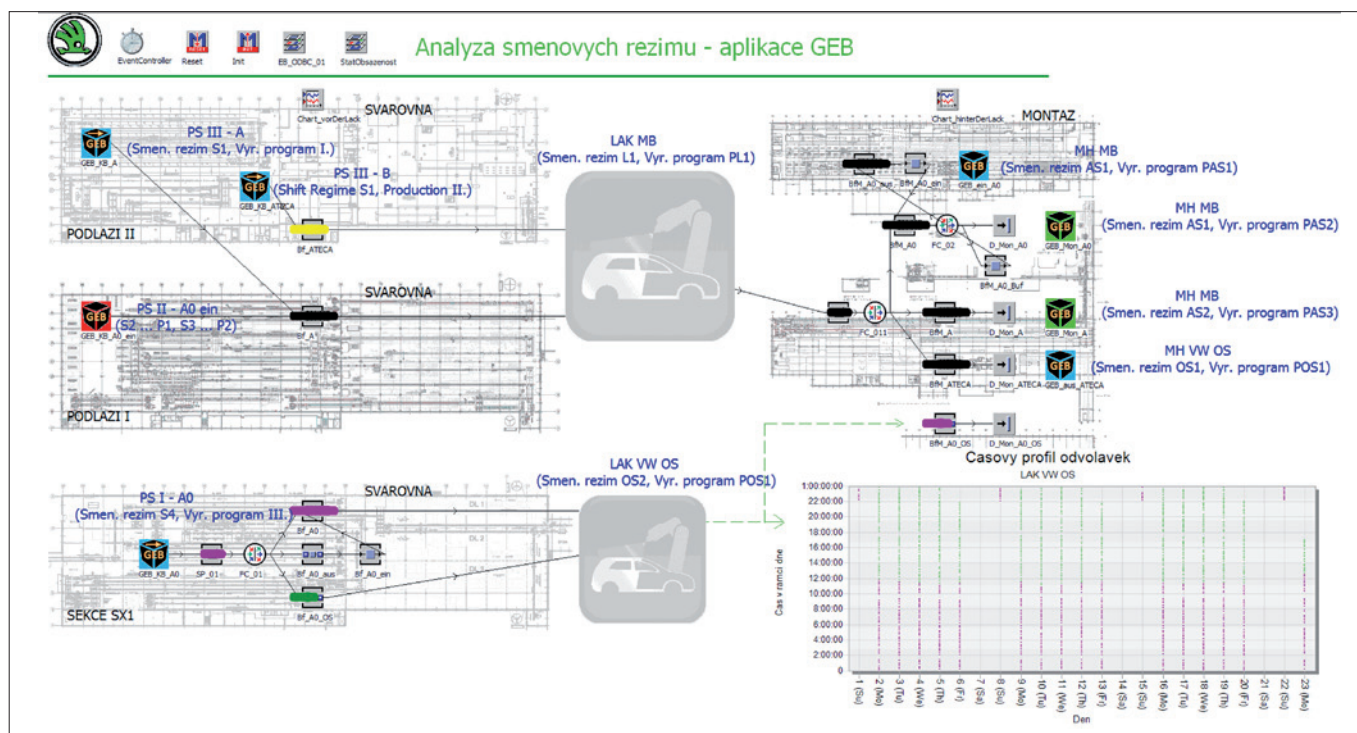
Obr. 7. Centrální parametrizace instancí simulačního modelu, varianty nastavení



Obr. 8. Princip náhrady detailního modelu výrobního úseku univerzálním modelem

bilindustrie. *ProduktDatenJournal* [online]. Darmstadt: Prostep Ivip Verein, 2008, (1), s. 23–25 [cit. 2018-03-15]. ISSN 1436-0403. Dostupné z: https://www.simplan.de/wp-content/uploads/2008_01_ProduktDatenJournal.pdf

- [3] HLOSKA, Jiří. *Optimalizace materiálového toku v hromadné výrobě simulačními metodami*. Brno, 2014. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Miroslav Škopán.
- [4] ŠTOČEK, Jiří a Vladimír KARPETA. *Systémová analýza dat o průchodu zakázky evidenčními body. Automa: časopis pro automatizační techniku*. Praha: FCC Public, 2010, (6), s. 8–10. ISSN 1210- 9592.
- [5] HLOSKA, Jiří. *Analýza a rekonstrukce logistických procesů pomocí simulačního metamodelu*. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2011. In: *Sborník přednášek XXXVII. mezinárodní konference dopravních, manipulačních, stavebních a zemědělských strojů: sborník přednášek:*



Obr. 9. Náhrada detailních simulačních modelů úseků svařoven a montáží

ný počet alternativních scénářů, které lze následně mezi jednotlivými instancemi kopírovat a přepínat mezi nimi.

Další vývoj bude směřovat k doplňujícím algoritmům pro stanovení požadované sekvence typů generovaných elementů materiálového toku a s tím souvisejícímu rozšíření grafických výstupů, které již v současné verzi modelu poskytují užitečnou zpětnou vazbu o správné funkci modelu, a to jak během simulace, tak po jejím ukončení, kdy jsou gra-

fy doplněny údaji o hodnotách statistik generované produkce.

Literatura:

- [1] WENZEL, Sigrid, Markus RABE a Sven SPIECKERMANN. *Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik: Vorgehensmodelle und Techniken*. Berlin: Springer, 2007. ISBN 978-354-0352-815.
- [2] CLAUSING, Matthias a Stefan HEINRICH. *Mensch, Maschine, Material – die Standardisierung der Ablaufsimulation in der Automo-*

bil.–15. září 2011. Brno: VUT Brno, 2011, s. 91–94. ISBN 978-80-214-4323-5.

Ing. Jiří Štoček, Ph.D., odborný koordinátor pro virtuální plánování, ŠKODA AUTO a. s. (jiri.stocek@skoda-auto.cz), Ing. Jiří Hloska, Ph.D., specialista pro simulace, EDAG Production Solutions CZ s. r. o. (jiri.hloska@vutbr.cz)

AUTOMA Na webových stránkách www.automa.cz lze časopis prolistovat i prohledat fulltextovým vyhledávačem.