

MODEL OBSLUHY TRANZITNÍCH NÁKLADNÍCH VLAKŮ SPECIFIKOVANÝ POMOCÍ BARVENÉ PETRIHO SÍTĚ

MODELLING MANIPULATION PROCESSES RELATED TO TRANSIT FREIGHT TRAINS USING COLOURED PETRI NETS

Viktor Patras¹

Anotace: Článek popisuje model obsluhy tranzitních nákladních vlaků, vytvořený pomocí barvených Petriho sítí v prostředí CPN Tools, jako určitý druh formalizace průběhu dopravních procesů, včetně jejich vzájemné synchronizace, na mezoskopické úrovni abstrakce. V rámci vymezení zkoumaného systému byl navržen princip zachycení zpracování jednoho tranzitního vlaku na technologické úrovni. Podle stejného principu byl následně sestaven model v Petriho síti, přičemž zavedení dalších vlaků, tj. definice jejich zpracování, včetně synchronizace více vlaků, se provádí parametrizací jediného modelu, jediné Petriho sítě. Funkčnost modelu je předvedena na jednom z několika příkladů použití.

Klíčová slova: modelování, železniční doprava, barvené Petriho sítě.

Summary: The paper pays attention to modelling manipulation processes related to transit freight trains within railway stations. The relevant mesoscopic model is specified with the help of coloured Petri net (using the software CPN Tools). The model reflects the multi-stage processing of a transit freight train from the viewpoint of applied technological processes. The model parameterisation enables to investigate concurrent elaborations of several transit trains including their mutual synchronization. The utilization of the model is illustrated on a demonstration case.

Keywords: modelling, railway transport, coloured Petri Nets.

ÚVOD

Při modelování a simulaci lokálních dopravních procesů se pro vlastní zachycení technologie velmi často používá síťových grafů. V některých případech však tento formalismus vzhledem ke své definici nepostačuje. Určitou alternativou se tak jeví použití barvených Petriho sítí, které díky svým vlastnostem významně rozšiřují možnosti popisu dopravních technologií. Současně umožňují na formálním zápisu technologie pomocí grafu Petriho sítě v konkrétním softwarovém nástroji experimentování s modelem, resp. v případě zavedení času simulaci. To umožňuje okamžitou verifikaci (a případně i validaci) modelu, resp. daného popisu technologie.

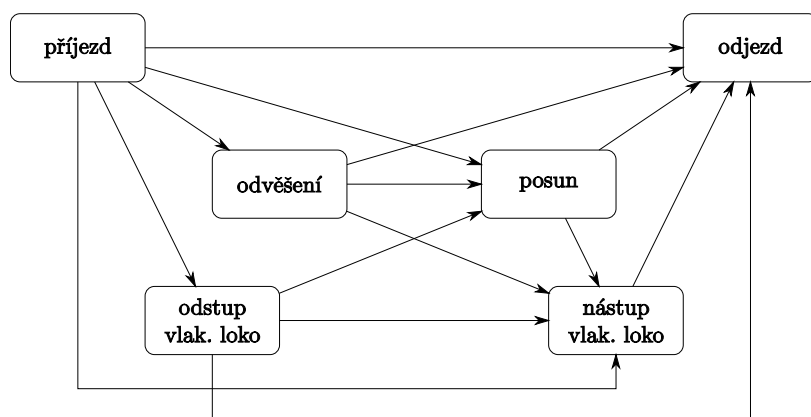
¹ Ing. Viktor Patras, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra informatiky v dopravě, Studentská 95, 532 10 Pardubice, Tel.: +420 46 603 6123, Fax: +420 46 603 6094, E-mail: viktor.patras@upce.cz

Díky svým vlastnostem se formalismus také ukazuje jako velmi zajímavý pro zachycení synchronizace více dopravních procesů. Tento obecný problém se projevuje např. v rámci vývoje specializovaných simulačních softwarů, kde klasické síťové grafy popisu technologií nedostačují. Případné používání formalismu v dopravní technologii a tvorba ověřovacích studií a modelů je proto aktuální téma výzkumu na akademické půdě.

V následujícím článku je jako příklad uveden model obsluhy tranzitních nákladních vlaků v železniční stanici, který představuje popis technologie zpracování tranzitního vlaku, včetně synchronizace procesů mezi více vlaky. Je třeba poznamenat, že obecně je možné uplatnit prezentovaný přístup i na technologie v osobní železniční dopravě, případně v jiných druzích dopravy.

1 VYMEZENÍ ZKOUMANÉHO SYSTÉMU

Z technologického pohledu na úlohu obsluhy více tranzitních nákladních vlaků se vlastně jedná o zpracování různých variant v rámci jednoho modelu. Analýza problému byla založena na myšlence zachycení zpracování nejprve jednoho tranzitního vlaku. Vzhledem k tomu, že toto vyjádření je shodné pro všechny vlaky v modelu, zavedení většího počtu vlaků bylo navrženo formou uvedení dalších vstupních parametrů stejného modelu. Jednotlivé parametry představují jednotlivé vlaky, resp. definici jejich obsluhy (v daném podprocesu). V rámci dekompozice problému byly na nejvyšší úrovni abstrakce definovány tři základní činnosti při obsluze – *odstup vlakové lokomotivy*, *nástup vlakové lokomotivy* a *posun*, jejichž kombinace, společně s formálním doplněním o *příjezd* a *odjezd*, představují jednotlivé varianty obsluhy vždy jednoho tranzitního vlaku. Při následném rozpracování byly tyto základní činnosti ještě rozšířeny o činnost *odvěšení* (lokomotivy nebo skupiny vozů), neboť byla zavedena technika rozpadu vlaku na jednotlivé elementy (tj. lokomotiva, skupiny vozů k odstavení/přistavení [dále též odvěsy], zbývající původní souprava), pomocí které je možné pracovat s každým takovým elementem samostatně. Základní technologie obsluhy je ve zjednodušené podobě vyjádřena schématickým nákresem na obrázku 1.



Obr. 1 - Schéma obsluhy tranzitního nákladního vlaku

Na tomto místě je nezbytné uvést, že obrázek 1 sice svým vzhledem připomíná vrcholově orientovaný síťový graf, avšak nejedná se o klasický síťový graf, jak je znám

z teorie grafů. Jedná se pouze o rozklad na jednotlivé základní činnosti (obdélníky) na nejvyšší úrovni abstrakce a schématické vyjádření jejich závislosti (spojnice) s tím, že v jednom schématu jsou zachyceny všechny možné závislosti všech základních činností obsluhy jednoho vlaku. Uvedený graf je vlastně kombinací všech případů technologie obsluhy v rámci jediného grafu.

Analogicky terminologii síťových grafů by se dalo říci, že konkrétní realizace jednoho technologického případu je podgrafem. Kompletní schéma tak vlastně vzniká složením všech možných podgrafů, odpovídajících jednotlivým případům obsluhy vlaku. Vzhledem k původnímu významu schémat je třeba poznamenat, že z technologického hlediska jsou smysluplné jen některé podgrafy.

Pro využití uvedené techniky znázornění dopravní technologie byla inspirací publikace (1), neboť z definice klasické síťové analýzy není možné vyjádřit variabilitu technologie v rámci jednoho grafu. I když existují různá rozšíření síťových grafů o podmínkové hrany (viz např. (2)), motivací bylo použít co možná nejjednodušší způsob seznámení s dále uvažovanou dopravní technologií, resp. nejjednodušší způsob zachycení vymezené části dopravního systému pro následné modelování pomocí Petriho sítí.

V rámci vymezení daného systému typickými (a v modelu uvažovanými) případy obsluhy tranzitního vlaku mohou být:

- vyřízení formalit (bez pohybu vozidel – např. výměna strojvedoucího, zlomení [změna] čísla vlaku, nácestná technická nebo přepravní prohlídka atd.),
- obrácení směru jízdy vlaku,
- odvěšení skupiny vozů z konce vlaku,
- odjezd skupiny vozů z konce vlaku jako nový vlak (předchozí a tato situace společně odráží rozpad dvouskupinového vlaku),
- odstavení skupiny vozů ze začátku vlaku,
- přistavení skupiny vozů na začátek vlaku,
- odstavení skupiny vozů z konce vlaku,
- přistavení skupiny vozů na konec vlaku,
- posun,
- výměna vlakové lokomotivy (s případným odstavením/dobráním),
- výměna vlakové lokomotivy (s případným odstavením/dobráním) s posunem.

Pro každý případ je možné vytvořit podgraf ze schématu z obrázku 1, přičemž pro některé případy mohou být vzhledem k jejich povaze podgrafy shodné. Na úrovni nejvyšší abstrakce se totiž může jednat o shodné činnosti, vlastní rozdílnosti pak vyplynou z konkrétních operací na nižší úrovni. Tedy například odstavení skupiny vozů ze začátku vlaku (vlakovou lokomotivou) a výměnu vlakové lokomotivy by reprezentoval shodný podgraf *příjezd – odstup vlak. loko – nástup vlak. loko – odjezd* s tím, že v prvním případě (odstavení skupiny vozů...) by se v rámci činnosti *odstup vlak. loko* provedlo přestavení odvěsu vlakovou lokomotivou na dané místo a její uvolnění/odstup na místo čekání, ve

druhém případě (výměna vlakové lokomotivy) by se v rámci této činnosti provedlo odvěšení vlakové lokomotivy a její přímý odstup do depa (případně též cestou s přestavením odvěsu).

Jednotlivé elementární činnosti jsou dále rozpracovány na nižší úrovni abstrakce. Každý obdélník schématu představuje detailnější popis dané činnosti, další schéma, jejichž stručný verbální popis následuje.

Činnost příjezd – představuje vlastní příjezd vlaku, tj. vstup obsluhovaného objektu do systému (vlaku do modelu).

Činnost odvěšení – představuje odvěšení vlakové lokomotivy a/nebo odvěsů. Tím vznikají jednotlivé elementy pro další zpracování – lokomotiva, odvěsy, původní souprava. Lokomotiva v tomto případě neodstupuje do depa, ale zůstává k dispozici pro potřeby posunu a/nebo návratu k původní soupravě.

Činnost odstup vlakové lokomotivy – představuje odstup vlakové lokomotivy buď do depa (opuštění modelu), nebo do místa odstavení (k dispozici pro další činnosti). V obou případech je možný odstup buď přímo, nebo je možné cestou nejprve vykonat přestavení odvěsu, řazeného původně za lokomotivu, a poté dokončit odstup.

Činnost posun – představuje nezávislý přesun odvěsu, mimo rámec odstupu nebo nástupu vlakové lokomotivy. Posun může vykonávat buď vlaková lokomotiva (odvěšená, z místa odstavení), nebo místní posunovací lokomotiva.

Činnost nástup vlakové lokomotivy – představuje nástup vlakové lokomotivy, buď nové z depa, nebo návrat původní lokomotivy. V obou případech je možné, analogicky odstupu lokomotivy, nastoupit přímo, nebo je možné cestou nejprve nastoupit na odvěs a následně s ním nastoupit na soupravu. Respektive, je možný nástup na původní soupravu (element vzniklý odvěšením/odstupem lokomotivy), nebo na odvěs (element vzniklý jako odvěs).

Činnost odjezd – představuje přípravu vlaku k odjezdu a jeho odjezd. Přípravou vlaku se rozumí svěšení jednotlivých odvěsů, které tvoří daný vlak a byly na soupravu dodány v průběhu zpracování cestou posunu (nezávisle na vlakové lokomotivě). V rámci této činnosti je možné provést přečíslování vlaku.

Z uvedeného vyplývá, že v daném případě je od infrastruktury abstrahováno, neboli model zachycuje pouze popis jednotlivých operací pohyblivého podsystemu, tj. pohybu elementů a obslužných zdrojů, bez vazby na dostupnost infrastruktury. Elementy se mají na mysli vlaky, resp. vlakové lokomotivy, soupravy vozů a odvěsy těchto vlaků. Obslužnými zdroji se mají na mysli posunovací lokomotivy a posunovači zajišťující přivěšování/odvěšování lokomotiv a odvěsů.

2 MODEL V PETRIHO SÍTI

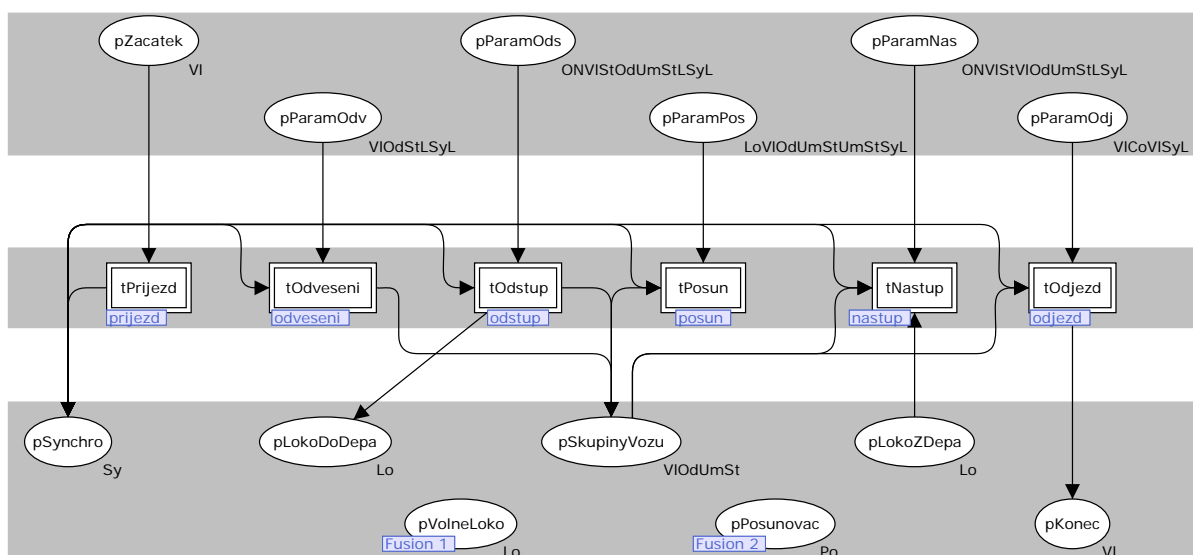
Vlastní model v Petriho síti byl sestaven v nástroji CPN Tools. Obecná problematika barvených Petriho sítí není předmětem tohoto článku, její znalost se u čtenáře předpokládá například z knihy (3), případně z práce (4), ve které je blíže rozvedena možnost využití formalismu barvených Petriho sítí pro popis dopravních procesů.

Určitým způsobem model zapadá do skupiny prací československého kolektivu autorů, zabývajících se modelováním technologií seřadovacích stanic. Nejbližším příkladem budiž práce (5), která se zaměřuje na simulaci klasické technologie seřadovací stanice v Petriho síti, tj. zpracování končících vlaků, jejich rozřadování na svážném pahrbku a sestavu výchozích vlaků. Model popisovaný v uvedené práci je však zpracován na nižší úrovni abstrakce, jedná se o samostatně běžící komplexní simulační model seřadovací stanice. Naopak model popisovaný v tomto článku se zaměřuje jen na zpracování vlaků v tranzitní skupině, tedy určité doplnění, rozšíření problematiky. Hlavně ale, model je spíše formálním zachycením technologie zpracování se zaměřením na synchronizaci jednotlivých procesů s tím, že je možné jej použít buď přímo pro experimentování na konkrétním případě, nebo jako obecnou vstupní definici procesů, např. pro specializovaný simulační program.

Na tomto místě je třeba poznamenat, že oproti modelu v práci (5) a v práci (6) obecně popsanému přístupu k reprezentaci činnosti v Petriho síti je v tomto článku používána filozofie reprezentace činnosti (aktivity) pomocí přechodu v Petriho síti, jak je blíže uvedeno v článku (7).

2.1 Popis principu řešení

Vymezení systému a jeho technologické zachycení dalo základ pro tvorbu vlastního modelu pomocí Petriho sítě. Podle schématu obsluhy z obrázku 1 byla pro každou elementární činnost vytvořena samostatná podsíť, realizující danou konkrétní operaci, a jedna hlavní síť, která všechny podsítě spojuje v logický celek. Stejně tak jako schéma obsluhy z obrázku 1 jde i v tomto případě o hierarchickou síť, kdy na nejvyšší úrovni hierarchie je vyjádřen celkový pohled na model (obrázek 2), umožňující vlastní experimentování s modelem formou definice vstupních podmínek (uživatelské rozhraní pro práci s modelem), a jednotlivé elementární činnosti jsou realizovány pomocí samostatných sítí nižší úrovně, které již nejsou uživatelem parametrizovány.



Obr. 2 - Hlavní graf Petriho sítě

Hlavní graf sítě je na obrázku 2. Každá elementární operace je na nejvyšší úrovni vyjádřena *substitučním přechodem* (obdélník s dvojitým orámováním), který představuje vždy celou podsít', a jemu odpovídajícím *soketem*, vstupním místem (elipsy „nad“ přechody) obsahujícím značky, které představují parametrizaci dané činnosti. Ostatní místa (elipsy „pod“ přechody) vyjadřují další prvky technologie, nebo pomocná místa pro zabezpečení technické funkčnosti modelu. Uvedené rozdělení na tři logické skupiny prvků vyznačuje šedé podbarvení grafu.

Jednotlivá místa jsou označena identifikátory tvořenými vždy složeninou z předpony *p* (place) a pokud možno co nejvýstižnějšího vyjádření jejich významu. Kromě místa *pZacatek* jsou identifikátory ostatních vstupních míst jednotlivých činností složeny z vyjádření parametrizace *Param* a třípísmenné zkratky odpovídající dané činnosti. Vstupní místo *pZacatek* představuje z pohledu modelované technologie zpracování vlaku de facto vstup vlaku do modelu, výstupní místo *pKonec* představuje výstup vlaku z modelu. Analogicky terminologii síťových grafů, použitou na schéma z obrázku 1, by znamenaly *zdroj* a *ústí*. Značky vyskytující se ve vstupně-výstupním místě *pSkupinyVozu* představují jednotlivé odvěsy, případně vlakové soupravy po odstupu lokomotivy. Výstupní místo *pLokoDoDepa* představuje lokomotivní depa, resp. jeho část pro příjem odstupujících lokomotiv, vstupní místo *pLokoZDepa* pak jeho část pro vystavení nastupujících lokomotiv z depa. Značky vyskytující se ve fúzním místě *pVolneLoko* představují lokomotivy volné pro posun či další činnosti – tedy místní posunovací lokomotivy a lokomotivy uvolněné od jednotlivých vlakových souprav, které neodstupují do depa, ale zůstávají v modelu pro potřeby posunu a návratu na vlak. Značky vyskytující se ve fúzním místě *pPosunovac* představují posunovače, nezbytné pro odvěšování, svěšování a posun. Na tomto místě je třeba poznamenat, že místa pro lokomotivy a posunovače de facto představují již zavedení práce s obslužnými zdroji. Fakt, že se jedná o společné zdroje pro všechny činnosti se v Petriho síti odráží technikou řešení fúzním místem – místem hlavní sítě „dosažitelným“ ze všech podsítí. Posledním, v tomto modelu nejvýznamnějším místem, je místo *pSynchro*, které představuje nástroj pro synchronizaci všech šesti činností v rámci obsluhy jednoho tranzitního vlaku, resp. současně všech činností v rámci obsluhy všech vlaků, zavedených v modelu.

Jednotlivé substituční přechody jsou označeny vždy složeninou z předpony *t* (transition) a názvu činnosti, který odpovídá technologickému vyjádření na obrázku 1. Pod přechody se skrývají vlastní podsít' s přechody, reprezentujícími provádění konkrétních modelovaných aktivit. Vzhledem k rozsáhlosti modelu je na obrázku 3 uvedena pouze pro ilustraci podsít' reprezentující činnost odstup vlakové lokomotivy. Šedými obdélníky vyznačené strukturální prvky odpovídají konkrétním technologickým operacím v rámci dané činnosti (modelovaná aktivita je v Petriho síti vyjadřována přechodem, resp. odpovídající kombinací místo–hrana–přechod, nazývanou dle práce (7) strukturální prvek). Ostatní místa jsou pomocná místa zabezpečující spojení s hlavní sítí. Struktura jednotlivých hranových výrazů odpovídá barvám značek incidentních míst. Úplný popis je nad rámec tohoto příspěvku, tedy alespoň pro ilustraci na jednom příkladě: ve výrazu $(on,(vl,od,st),(uml,stl))$ znamená *on* směr odstupu lokomotivy (tj. do depa, nebo pouze uvolnění od vlaku pro posun s pozdějším návratem zpět na soupravu), *vl* označení původního vlaku, *od* číslo odvěsu původního vlaku, *st* stranu

(plus/mínus) umístění odvěsu na původní soupravě, *uml* cílové umístění posunovaného odvěsu (označení koleje nebo vlaku), *stl* stranu cílového umístění odvěsu.

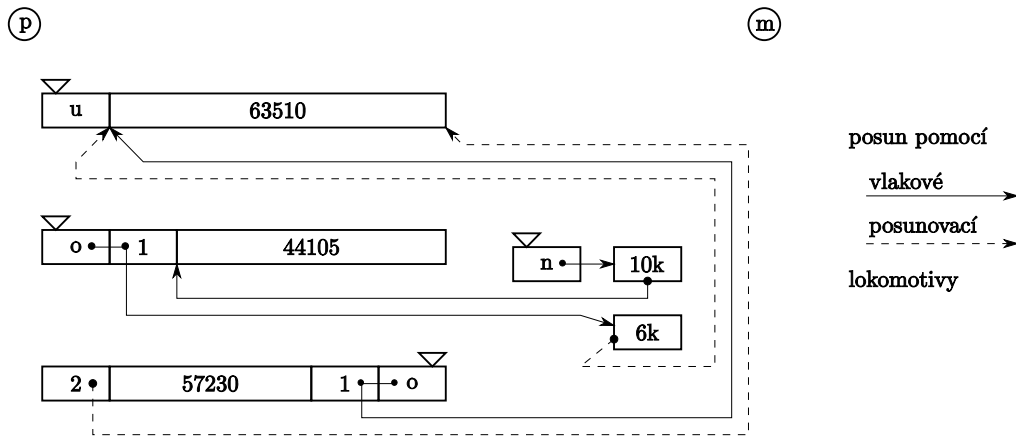
Počáteční značení sítě představuje definici konkrétní technologie obsluhy vlaku, resp. více vlaků. To znamená, že činnosti, které se budou vykonávat, budou mít na počátku definované značky ve svých parametrizačních místech. Dále pak je třeba mít definovány obslužné zdroje – značky ve vstupních a fúzních místech pro lokomotivy a posunovače. Případně je třeba mít definované odvěsy, které již mají být připravené ve stanici a budou se dobírat po příjezdu vlaků – značky v místě *pSkupinyVozu*. Struktura jednotlivých množin barev je přiblížena na následujícím konkrétním příkladě.

Vlastní princip synchronizace všech činností v rámci obsluhy jednoho vlaku, nebo závislých činností mezi různými vlaky, je zabezpečen pomocí synchronizačního místa *pSynchro* následujícím způsobem: Značky parametrizující jednotlivé činnosti vždy obsahují složku, která určuje barvu značky z místa *pSynchro*, jejíž výskyt umožní provedení dané činnosti. Po ukončení dané činnosti se do místa *pSynchro* vloží značka vyjadřující provedení dané činnosti. Tedy v rámci evoluce sítě se v místě *pSynchro* průběžně objevují synchronizační značky, které průběžně „spouští“ jednotlivé činnosti, čímž je vyjádřena závislost na činnostech, které musely být předtím vykonány (analogicky síťovému grafu, resp. schématu z obrázku 1). Určitým způsobem by se měnící se stav synchronizačního místa dal chápat také jako protokol činnosti modelu.

2.2 Příklad synchronizace obsluhy tří vlaků

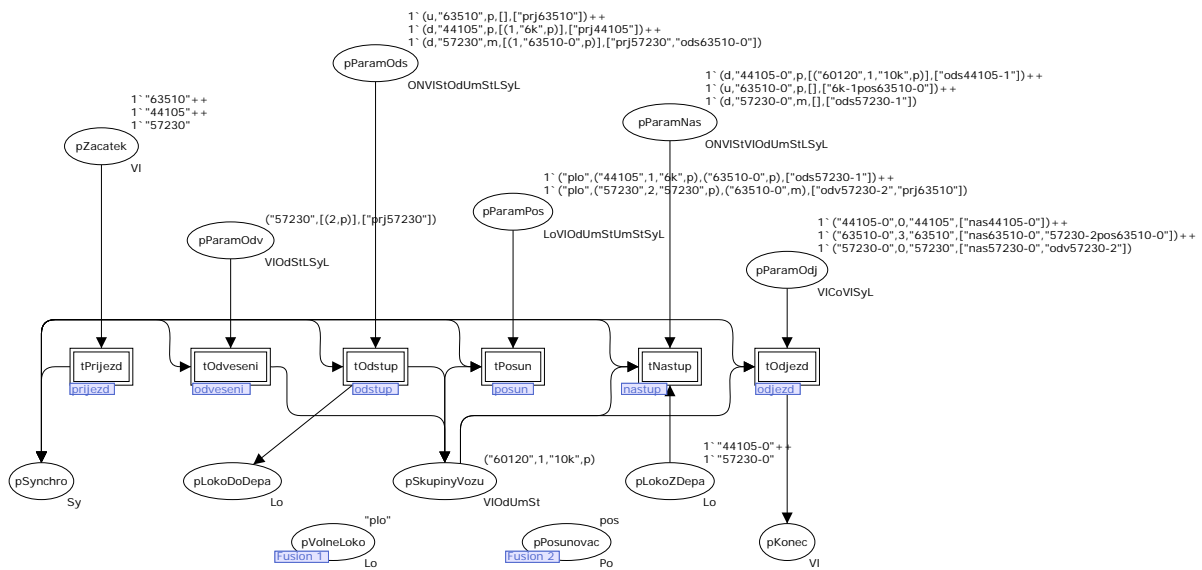
Jako ilustrativní příklad použití modelu slouží situace obsluhy tří tranzitních nákladních vlaků ve větší (nácestné, seřaďovací) stanici s lokomotivním depem, kde je nezbytné synchronizovat obsluhu jednotlivých vlaků. Schématické znázornění přesunu jednotlivých odvěsů mezi vlaky, resp. nakládkovými místy, je na obrázku 4, přičemž u vlaku 63510 nedochází k výměně vlakové lokomotivy, u vlaků 44105 a 57230 dochází. Označení *p* (plus) a *m* (mínus) v kroužku vyjadřuje strany pohledu na model.

V dané situaci do stanice přijíždí ze směru *m* vlak 63510, jehož vlaková lokomotiva odstupuje od soupravy z důvodu uvolnění čela soupravy pro posunované odvěsy (proto symbol *u* [uvolněná] na obrázku lokomotivy). Dále přijíždí taktéž ze směru *m* vlak 44105, jehož vlaková lokomotiva odstupuje do depa (proto symbol *o* [odstupující] na obrázku lokomotivy) a cestou odstavuje 1. odvěs na kolej 6k z plusové strany. Následně může na vlak 44105 nastoupit z depa nová vlaková lokomotiva (proto symbol *n* [nastupující] na obrázku lokomotivy), která cestou dobírá odvěs z plusové strany koleje 10k. Z plusové strany dále pak přijíždí vlak 57230, jehož vlaková lokomotiva odstupuje do depa a cestou odstavuje 1. odvěs na čelo soupravy vlaku 63510. Teprve poté může posunovací lokomotiva (čárkovaná čára) přestavit 1. odvěs vlaku 44105 z plusové strany koleje 6k na čelo soupravy vlaku 63510. Teprve poté se může vrátit uvolněná lokomotiva na soupravu vlaku 63510, avšak s odjezdem musí počkat dokud posunovací lokomotiva nepřestaví 2. odvěs vlaku 57230 z konce jeho soupravy na konec soupravy 63510. Poté je možné svést a odjet s vlakem 63510. Po odstupu vlakové lokomotivy vlaku 57230 na tuto soupravu může nastoupit z depa nová vlaková lokomotiva, avšak s odjezdem je třeba počkat až do odvěšení 2. odvěsu od soupravy. V případě splnění všech podmínek vlaky odjíždějí každý svým původním směrem.



Obr. 4 - Schéma posunů u tří tranzitních vlaků

Jak již bylo naznačeno, vzhledem ke koncepci modelu v Petriho síti je velmi jednoduché zabezpečení synchronizace více vlaků, neboť každá elementární činnost je závislá (čeká) na předchozí elementární činnosti buď svého vlaku, nebo jiného vlaku, resp. obou. Vlastní zápis probíhá pouhým přidáním dalšího prvku seznamu synchronizačních značek jednotlivých parametrizačních značek. Hlavní Petriho síť zobrazující počáteční značení tohoto příkladu je na obrázku 5.



Obr. 5 - Petriho síť obsluhy tří tranzitních vlaků

Na uvedeném konkrétním příkladě je možné v následujícím přehledu přiblížit význam množin barev jednotlivých parametrizačních míst, resp. značek vyskytujících se v těchto místech (definujících obsluhu daného vlaku). Předtím je třeba ještě poznamenat, že přípona „-0“ k označení vlaku (např. 63510-0) vyjadřuje v případě značky z množiny lokomotiv označení vlakové lokomotivy daného vlaku, v případě značky z množiny odvěsů původní soupravu vlaku 63510. V případě synchronizačních značek vyjadřují přípony „-0“, resp. „-1“

atd., vždy odpovídající číslo zpracovaného odvěsu, resp. v případě nuly vlakové lokomotivy nebo původní soupravy. V jednotlivých místech značky (resp. jejich části) vyjadřují:

pZacatek – číslo (označení) příjíždějícího vlaku; tedy např.

"63510" ~ příjezd vlaku 63510.

pParamOdv – seznam odvěšovaných odvěsů, nebo lokomotivy, od původní vlakové soupravy;

a mají strukturu „od kterého vlaku – co se bude odvěšovat – na co se čeká“; tedy např.

("57230" , [(2 , p)] , ["prj57230"]) ~ po příjezdu vlaku 57230 se od něj na plusové straně odvěsí skupina vozů 2.

pParamOds – odstup vlakové lokomotivy od vlaku do depa, resp. do místa odstavení;

a mají strukturu „kam lokomotiva odstupuje – od kterého vlaku – z které strany – zdali vykonává cestou nějaký posun, resp. jaký a kam – na co se čeká“; tedy např.

(d , "44105" , p , [(1 , "6k" , p)] , ["prj44105"]) ~ po příjezdu vlaku 44105 jeho vlaková lokomotiva odstupuje z plusové strany do depa a provádí přitom přesun skupiny vozů 1, řazené za lokomotivou, na kolej 6k.

pParamPos – nezávislý posun skupiny vozů (odvěsu) od vlaku na jinou kolej, k rampě, na nákladíště, k jinému vlaku, resp. obráceně z jiného místa k vlaku;

a mají strukturu „která lokomotiva posunuje – co – kam – na co se čeká“; tedy např.

("p1o" , ("44105" , 1 , "6k" , p) , ("63510-0" , p) , ["ods57230-1"]) ~ po dokončení odstupu vlakové lokomotivy vlaku 57230, tedy včetně přesunu odvěsu na vlak 63510, provádí místní posunovací lokomotiva posun odvěsu z plusové strany koleje 6k (původně odvěs 1 vlaku 44105) na plusovou stranu soupravy vlaku 63510.

pParamNas – nástup vlakové lokomotivy na soupravu vlaku, resp. na skupinu vozů (odvěs);

a mají strukturu „odkud lokomotiva nastupuje – na který vlak/skupinu vozů – na kterou stranu – zdali vykonává cestou nějaký posun, resp. jaký a odkud – na co se čeká“; tedy např.

(d , "44105-0" , p , [("60120" , 1 , "10k" , p)] , ["ods44105-1"]) ~ po odstupu vlakové lokomotivy vlaku 44105 provádí nová vlaková lokomotiva tohoto vlaku nástup z depa, přičemž cestou si „dobere“ skupinu vozů z plusové strany koleje 10k (původně odvěs 1 vlaku 60120).

pParamOdj – údaje nezbytné pro přípravu vlaku k odjezdu, resp. pro odjezd vlaku;

a mají strukturu „označení původního vlaku/odvěsu – počet svěšení – nové číslo vlaku – na co se čeká“; tedy např.

("63510-0" , 3 , "63510" , ["nas63510-0" , "57230-2pos63510-0"]) ~ po nástupu vlakové lokomotivy na soupravu vlaku 63510 a po přesunu odvěsu 2 vlaku 57230 na soupravu vlaku 63510 proběhne svěšení 3 jednotlivých odvěsů, které byly na soupravu dodány posunem nezávislým na vlakové lokomotivě, a původní vlak 63510 odjede pod stejným číslem.

2.3 Analýza stavového prostoru

Jedním z přirozených nástrojů Petriho sítí pro verifikaci modelu je analýza stavového prostoru. Pro konkrétní počáteční značení je možné provést analýzu a případně sestavit graf stavového prostoru, tzv. přechodovou funkci. Graf stavového prostoru příkladu synchronizace obsluhy tří vlaků je konečný a sestává ze 44 232 vrcholů (stavů Petriho sítě) a 167 980 hran (možných přechodů mezi stavy), což v daném případě ukazuje na relativně velkou variabilitu v pořadí vykonávání jednotlivých činností. Součástí analýzy je také nalezení tzv. neživého značení, neboli stavu sítě, ve kterém již není proveditelný žádný přechod. Ve výše popsaném modelu by mělo být přípustné neživé značení vždy jen jediné, neboť stav po ukončení činnosti modelu, který vyjadřuje, by měl sestávat z takového počtu značek v místě

- *pKonec*, kolik vlaků mělo odjet,
- *pPosunovac*, kolik bylo v počátečním značení definováno jednotek tohoto obslužného zdroje,
- *pSkupinyVozu*, kolik mělo zůstat odvěsů odstavených ve stanici po odjezdu všech vlaků,
- *pVolneLoko*, kolik bylo v počátečním značení definováno jednotek tohoto obslužného zdroje,
- *pLokoDoDepa*, kolik vlakových lokomotiv odstupovalo do depa (kolik přijíždějících vlaků měnilo lokomotivu),
- *pSynchro*, kolik elementárních činností se provádělo (suma značek počátečního značení v parametrizačních místech jednotlivých podsítí [místa nad substitučními přechody hlavního grafu Petriho sítě]).

Všechna ostatní místa hlavního grafu Petriho sítě by měla zůstat prázdná. V opačném případě došlo k dosažení neživého značení dříve než skončila technologie obsluhy tranzitních vlaků a model zůstal v nedokončeném stavu. Důvodem může být chyba v počátečním značení – expertní analýzou je třeba tuto najít a odstranit.

ZÁVĚR

Uvedený model obsluhy tranzitních nákladních vlaků v železniční stanici, vytvořený pomocí formalismu barvených Petriho sítí v prostředí CPN Tools, umožňuje na mezoskopické úrovni zachytit synchronizaci více procesů obsluhy dopravních elementů. Vlastní proces synchronizace je řešen pomocí rozkladu obsluhy vlaku na jednotlivé elementární činnosti, reprezentované vždy samostatnou sítí nižší hierarchické úrovně, a jejich postupným vykonáváním na základě výskytu synchronizačních značek, které představují provedení předchozích činností.

Pouhým doplněním časových značek stochastického, příp. deterministického, charakteru na jednotlivých přechodech lze zachytit též časové trvání jednotlivých operací, resp. celého procesu obsluhy. Takto upravený model je možné použít pro klasickou simulaci, provádět klasické simulační experimenty, v požadovaném počtu replikací.

Výhodou zápisu v Petriho sítí je jediný zobecněný model, jediná Petriho síť pro různé modelované varianty, které se liší pouze počátečním značením sítě. V případě, že se koncepc

specifikovaného modelu, představovaného Petriho sítí, stane součástí širšího simulátoru, pak by evoluce sítě v průběhu simulačního času představovala průběžné „doplňování“ značek do parametrizačních míst hlavního grafu sítě (nejvyšší hierarchická úroveň) a postupně plynulou „obsahu“ provozu v „simulované“ stanici. Také je možné využití již vytvořeného a verifikovaného modelu jako vstupní definice technologie v rámci jiného, např. individuálně vyvíjeného simulačního programu.

Tento příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru MSM 0021627505 Teorie dopravních systémů.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) БОРОДИН, А. Ф., ПАНИН, В. В. *Исследование операций на железнодорожных станциях*. Методические указания. Москва : Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ), 2008.
- (2) SADLOŇ, L., GÁBOR, M. Modelovanie technologických procesov sieťovými grafmi. In *INFOTRANS 2009 : Sborník příspěvků konference*. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2009, s. 103–109. ISBN 978-80-7395-171-9.
- (3) JENSEN, K., KRISTENSEN, L. M. *Coloured Petri Nets : Modelling and Validation of Concurrent Systems*. Berlin : Springer-Verlag, 2009. ISBN 978-3-642-00283-0.
- (4) PATRAS, V. Formalizace komplexních procesů v rámci železničních stanic a jejich synchronizace. In *Průběžná zpráva o výzkumné činnosti v letech 2005–2006 : Aplikovaná informatika v dopravě : Architektury a techniky simulačních modelů dopravních systémů a zařízení (MSM 0021627505)*. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2007, s. 241–275.
- (5) ŽARNAY, M., SLÁDEČEK, K., CENEK, P. Modelling of Marshalling Yard Technology With Help of Petri Net. *Journal of Information, Control and Management Systems*, 2006, Vol. 4, No. 1, p. 49–62. ISSN 1336-1716.
- (6) ŽARNAY, M., SADLOŇ, L. Prevod sieťového grafu technologického postupu spracovania vlaku na Petriho sieť. *Horizonty dopravy*, 2006, č. 1, s. 19–25. ISSN 1210-0978.
- (7) PATRAS, V. Metodika převodu síťového grafu na Petriho síť. *PERNER'S CONTACTS* [online], prosinec 2007, roč. 2, č. 3 [cit. 24. ledna 2011], s. 95–101. Dostupné na Internetu: <<http://pernerscontacts.upce.cz>>. ISSN 1801-674X.