

PREVOD SIEŤOVÉHO GRAFU TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU SPRACOVANIA VLAKU NA PETRIHO SIEŤ

Michal Žarnay, Ľubomír Sadloň

Žilinská univerzita, Fakulta riadenia a informatiky

e-mail: michal.zarnay@fri.utc.sk, lubomir.sadlon@fri.utc.sk

KLúčové slová: modelovanie, farbená Petriho sieť, sieťový graf, železničná doprava

1 ÚVOD

V rámci snahy o nový pohľad na skúmanie problémov rozhodovania pri obsluhu vlakov v zriaďovacej železničnej stanici sme vytvorili Petriho sieť modelujúcu jednoduchú zriaďovacia stanicu a typické technologické postupy obsluhy končiaceho a východiskového vlaku.

Pri tvorbe Petriho siete týchto postupov sme ich najskôr zapísali vo forme hranovo definovaných sieťových grafov, ako je zaužívaným zvykom pri modelovaní v nástroji na simuláciu logistických uzlov Villon 55. Potom boli sieťové grafy prevedené na Petriho sieť.

Cieľom tohto článku je opísať proces prevodu sieťového grafu na Petriho sieť, ktorý vychádza zo štandardného pravidla prevodu a zahŕňa niektoré špecifiká.

Po krátkom úvode o Petriho sieti a opise pravidiel prevodu medzi Petriho sieťou a sieťovým grafom opíšeme pôvodný sieťový graf a vytvorenú Petriho sieť.

2 VZŤAH PETRIHO SIETE A SIEŤOVÉHO GRAFU

Petriho sieť je formalizmus, ktorý sa používa na modelovanie a analýzu systémov so súbežnými procesmi a ich správania. Ako autori v 5 podrobnejšie rozvádzajú, Petriho sieť možno považovať za model, ktorý má grafický zápis, presný matematický jazyk a analytické metódy pre určenie správania systému.

Základnými stavebnými prvkami Petriho siete sú miesta, prechody, hrany a značky. Miesta a prechody sú dva typy uzlov v sieti. Hrany sú orientované a spájajú miesta s prechodmi a naopak, pričom nemôžu spojiť nijakú dvojicu uzlov rovnakého typu. Značky sú prvky, ktoré sa pohybujú vo vytvorenej sieti medzi miestami po hranách cez prechody.

Základný rozdiel medzi miestami a prechodmi spočíva v ich vzťahu ku značkám. Miesta môžu obsahovať značky dlhší čas. Počet značiek a ich rozdelenie na miestach reprezentujú stav siete. Prechody berú značky zo vstupných miest (vstupné miesto je také, z ktorého vedie do prechodu orientovaná hrana) a dodávajú ich na výstupné miesta (to je miesto, kam vedie orientovaná hrana z prechodu). Tento proces sa nazýva vykonanie prechodu – vykoná akciu v sieti, ktorá zmení jej stav. Takýmto spôsobom sa tiež dá zmeniť celkový počet značiek v sieti.

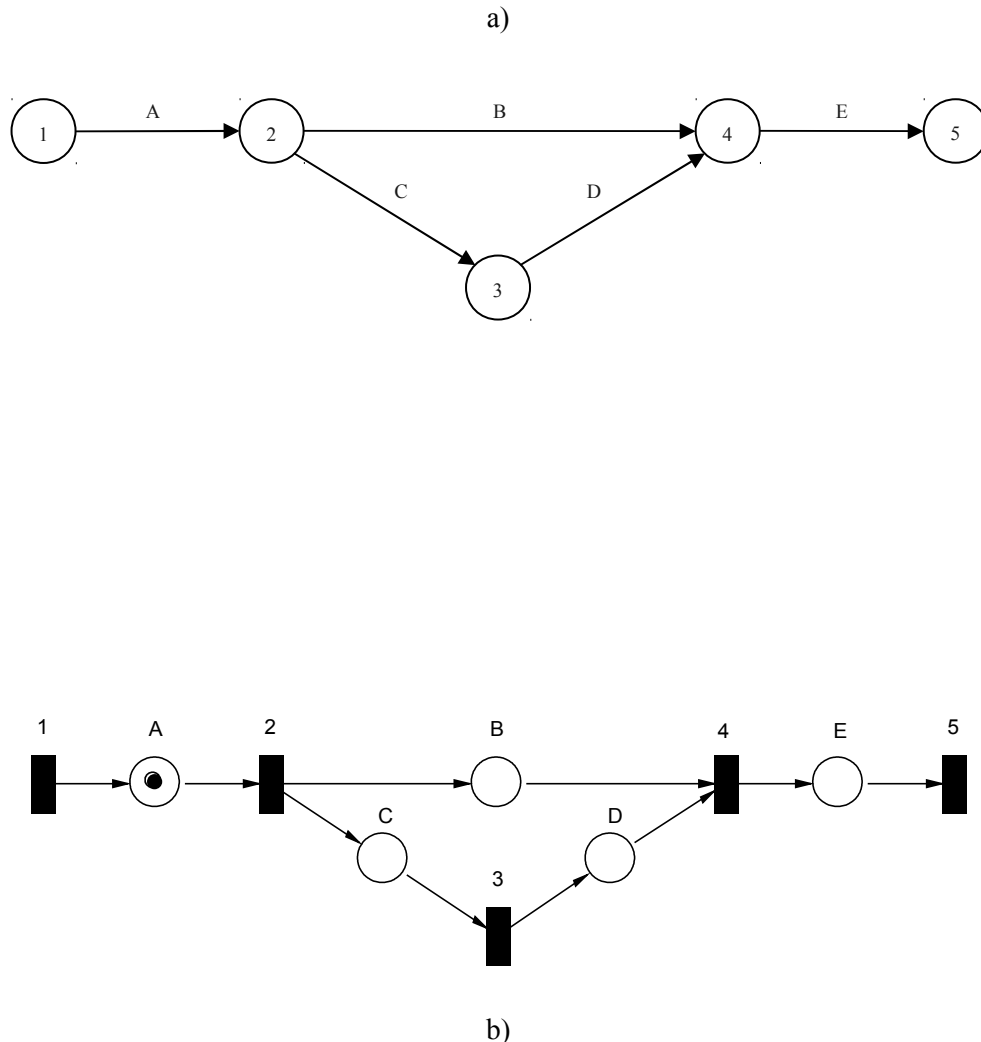
Viac o Petriho sieťach sa možno dozvedieť napríklad v 5555.

Sieťový graf, ako je všeobecne známe, pozostáva z vrcholov jedného druhu a orientovaných hrán, kde jeden uzol pôsobí ako zdroj a iný uzol ako ústie 5. V našom prípade popisuje technologický postup obsluhu vlaku. Jeho vykonanie sa v zásade zhoduje s princípom metódy kritickej cesty (CPM), t.j. obsluha začína v zdroji grafu a končí v ústí, pričom sa všetky činnosti medzi zdrojom a ústím vykonávajú v čase.

Z pohľadu formalizmu Petriho siete je sieťový graf podtriedou Petriho siete, zvanou tiež značený graf 5. Je to taká silno súvislá Petriho sieť, v ktorej pre každé miesto existuje nanajvýš jeden prechod,

z ktorého do miesta vchádza jedna hrana a nanajvýš jeden prechod, do ktorého z miesta jedna hrana smeruje.

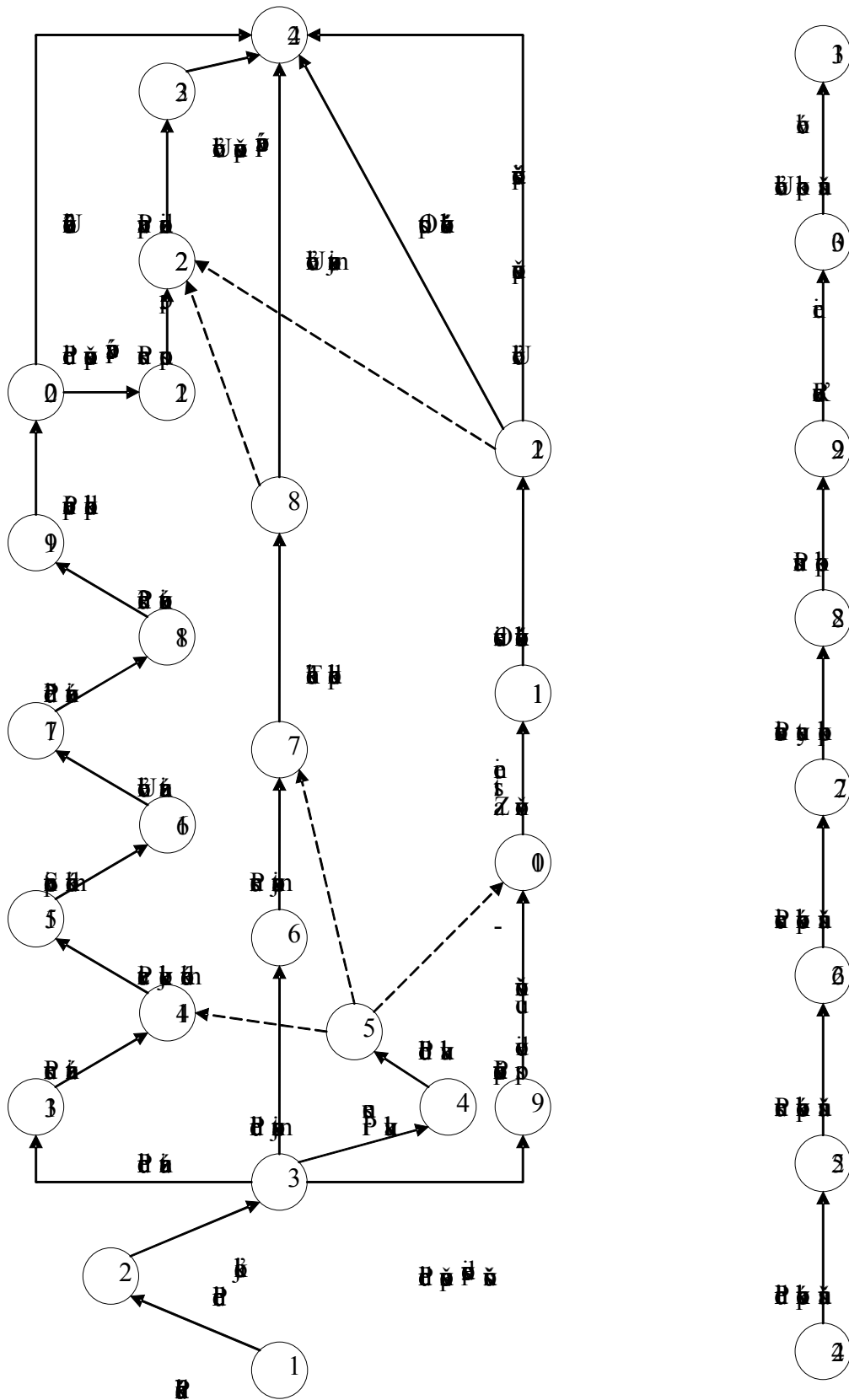
Na základe toho možno každý sieťový graf zapísať ako Petriho sieť, kde uzol sieťového grafu je reprezentovaný prechodom a hrana sieťového grafu je nahradená v Petriho sieti postupnosťou hrana-miesto-hrana. Príklad prevodu je uvedený na Obr. 1. Zdrojom je uzol 1 v sieťovom grafe a prechod 1 v Petriho sieti. Analogicky ústie reprezentujú uzol 5, resp. prechod 5. Obidva formalizmy opisujú technologický postup s činnosťami A až E.



Obr. 1 Príklad prevodu sieťového grafu do Petriho siete: a) sieťový graf, b) Petriho sieť.

Vykonanie technologického postupu v takejto Petriho sieti sa zabezpečí postupným presunom značiek od začiatku siete (zdroja) na koniec (ústie) v smere šípok. Z definície vyplýva, že značený graf môže vytvárať nové značky alebo rušiť už vytvorené. V sledovaných sieťových grafoch to znamená rozvetvenie vykonávania technologických činností do paralelných vetiev grafu, ktoré sa tak môžu vykonávať súbežne, a neskôr zlúčenie do jednej vetvy.

Z definície taktiež vyplýva, že značený graf nemôže modelovať konflikty alebo rozhodnutia závislé na údajoch. V snahe modelovať reálne situácie čo najpresnejšie, pôsobí tento nedostatok niekedy príliš obmedzujúco. Aj preto sme sa rozhodli preskúmať, čo nám prinesie prechod zo sieťového grafu na Petriho sieť, kde sa transformovaný sieťový graf doplní potrebnými detailami na modelovanie konfliktov.



Obr. 2 Skúmaný sieťový graf technologického postupu obsluhy končiaceho vlaku v zriaďovacej stanici.

3 PÔVODNÝ SIEŤOVÝ GRAF

Na Obr. 2 sa nachádza skúmaný sieťový graf technologického postupu obsluhy končiaceho vlaku v zriaďovacej stanici.

Ako z grafu vidno, už pri príchode do stanice sa vlaku prideli obslužná čata, ktorá nastupuje na miesto obsluhy (uzol 3 v grafe). Pozostáva z jedného tranzitéra, dvoch vozmajstrov a jedného posunovača-sprievodcu rušňov. Títo vykonávajú svoje činnosti súbežne po príchode vlaku. Po spracovaní dokumentov nastúpi ešte jeden tranzitér (uzol 17) a po prepravnej prehliadke nahradí tranzitérov posunovač-prípravár na prípravu súpravy na rozradenie. V momente, keď sa skončili všetky obslužné činnosti, teda aj technická prehliadka a odstup vlakového rušňa (24), môže prísť posunovací rušeň, ktorý súpravu rozradí. Podrobnejšie je vytvorenie tohto technologického postupu vysvetlené v 5.

Z pohľadu sieťového grafu môže súbežne prebiehať najviac päť činností. V praxi sú však najviac tri, nakoľko činnosti uvoľnenia personálu (napríklad hrany (20, 24) a (12, 24)) sa v grafe nachádzajú z modelovacích dôvodov a trvanie obsluhy technologického grafu svojím trvaním neovplyvnia. Bližšie sa o spôsobe tvorby sieťového grafu technologického postupu obsluhy vlaku v zriaďovacej stanici možno dozvedieť v 5 a 5.

4 VYTVORENÁ PETRIHO SIEŤ

Skúmanú Petriho sieť sme z priestorových dôvodov rozdelili na tri časti, ktoré sa nachádzajú na obrázkoch Obr. 3, Obr. 4 a Obr. 5. Po usporiadaní za sebou tvoria celok s 31 prechodmi od T1 do T31. Vykonávanie technologického postupu sa deje v jednom smere – v sieťovom grafe to bolo zľava doprava, v našej Petriho sieti sú hrany orientované spravidla zhora dolu.

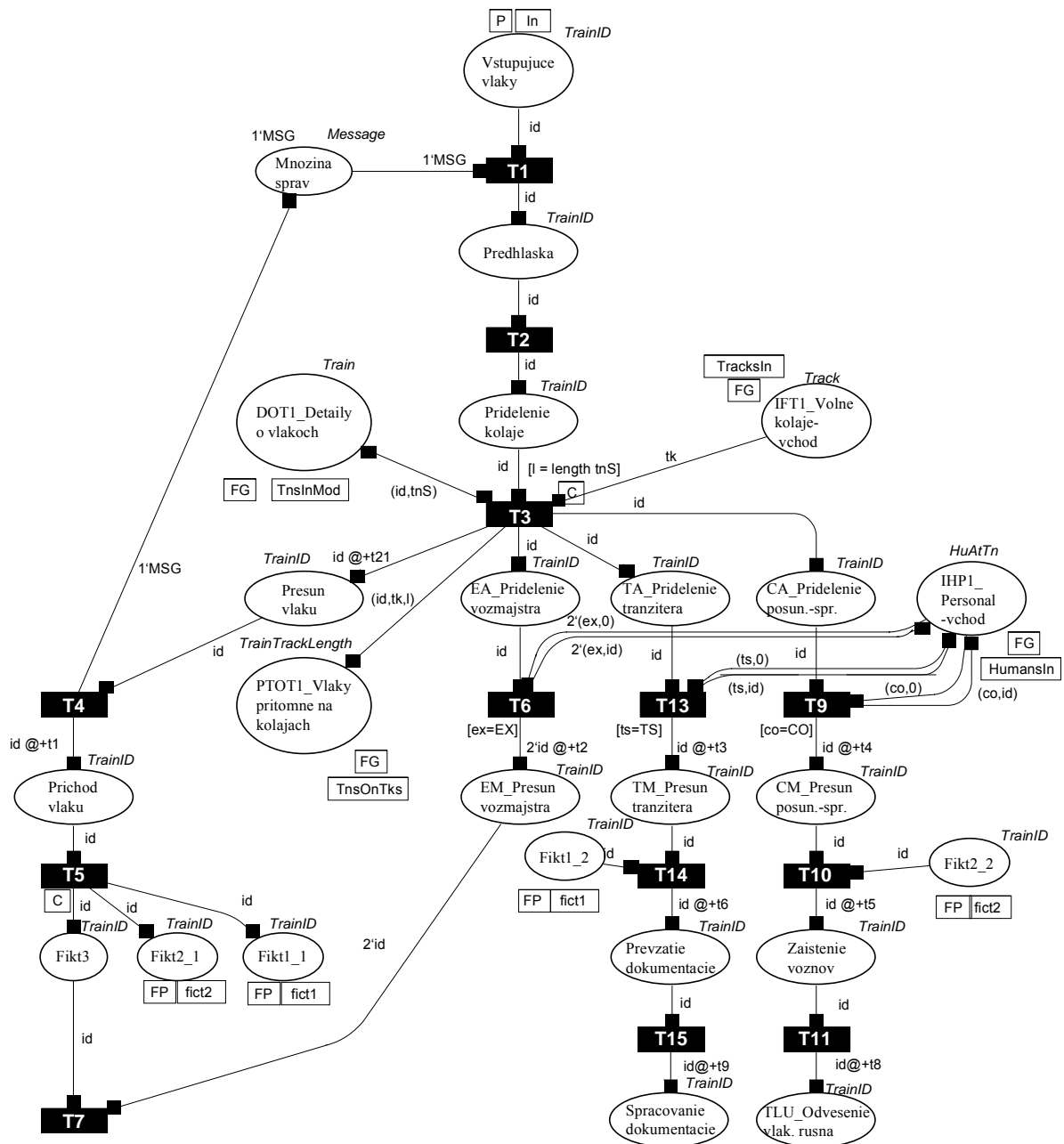
Model bol vytvorený ako časovaná hierarchická farbená Petriho sieť prostredníctvom programu Design/CPN 5, 5. Atribúty času, hierarchie a farieb dodávajú vyššie naznačenému základnému formalizmu rozsiahlejšie modelovacie schopnosti na zachytenie zložitejších systémov na menšom priestore. Všetky tri atribúty sa dotýkajú samotného prevodu iba okrajovo, preto si ich vplyv na skúmanú Petriho sieť opíšeme iba stručne s uvedením príkladov.

Čas nám umožňuje zahrnúť nevyhnutnú dimenziu časového trvania činností v rámci technologického postupu. Realizuje sa zväčšovaním časových pečiatok u príslušných značiek v sieti prostredníctvom výrazov na hranách ako je napríklad: $id @ + t\delta$, ktorý sa nachádza na Obr. 3 na hrane z prechodu T11 do miesta TLU_Odvesenie vlak. rusna a ktorý spôsobí prídanie konštanty t δ jednotiek, čo je konštanta pre čas presunu vlaku z trate, k časovej pečiatke značky *id*.

Farbami sa v Petriho sieti nazývajú typy, ktorými možno rozlíšiť prítomné značky v sieti. A tak namiesto čiernych bodov sa v sieti môžu pohybovať značky s údajmi napríklad číselného alebo reťazcového typu. Tento prechod na vyššiu úroveň Petriho sietí je podobný ako prechod od programovania v strojovom kóde k vyššiemu programovaciemu jazyku. Napríklad na Obr. 3 možno vidieť na hranách premenné *id* alebo *tk* označujúce číslo vlaku v prvom a obsadenú koľaj vo vchodovej skupine v druhom prípade.

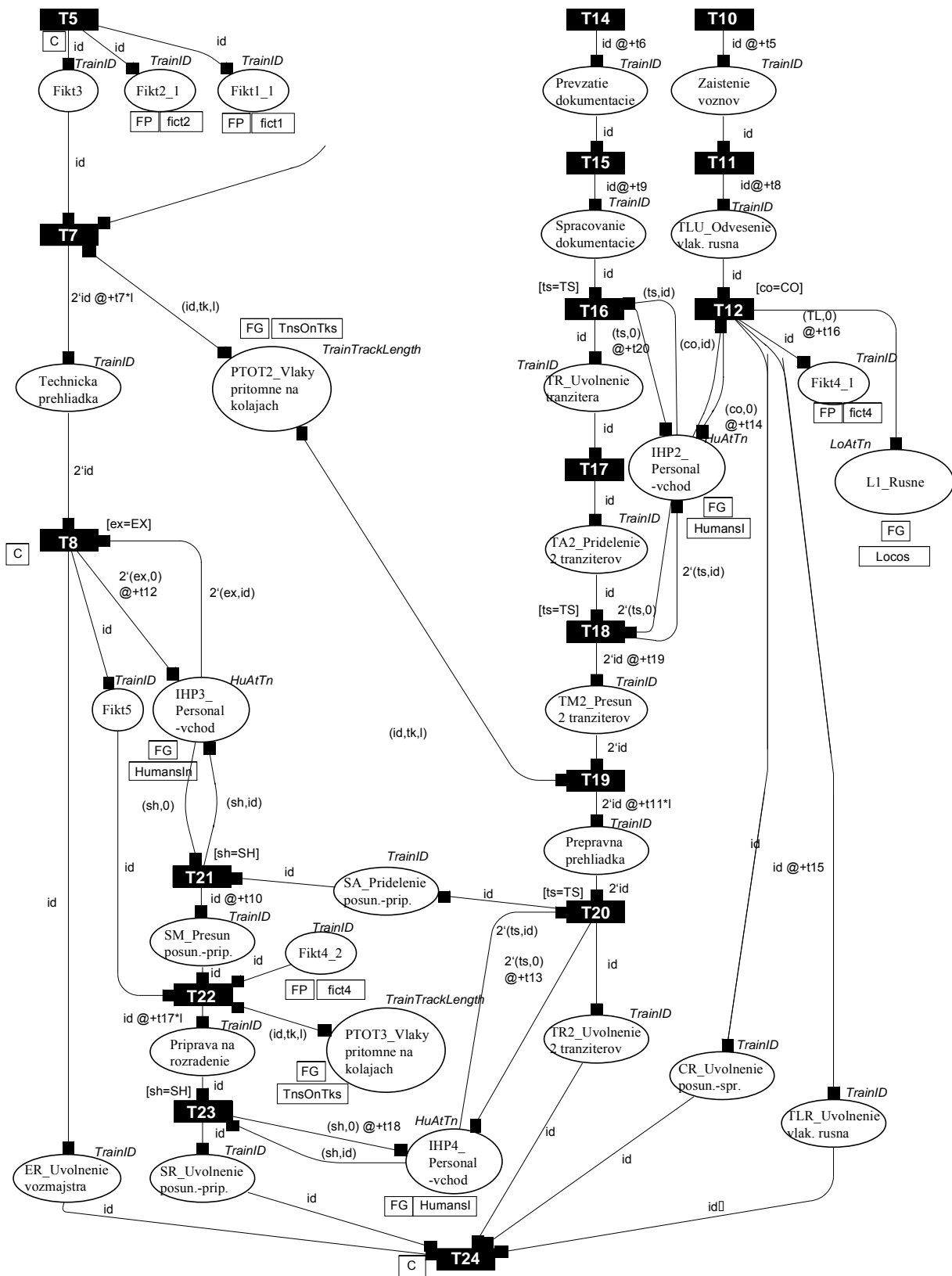
Hierarchia umožňuje rozčleniť celú sieť na časti, ktoré tvoria logické celky. V našom prípade umožnila vytvoriť Petriho sieť technologického postupu obsluhy vlaku ako podsieť hlavnej Petriho siete. Tá modeluje správanie systému zriaďovacej stanice a skladá sa celkovo zo štyroch stránok: primárnej (hlavnej) siete, stránky s podsieťou pre generovanie vstupného prúdu vlakov a dvoch stránok s podsietami na spracovanie končiaceho a východiskového vlaku. Každá podsieť sa v nadradenej, primárnej sieti reprezentuje špeciálnym, tzv. substitučným prechodom. Ak by sme zostali pri analógii so štruktúrovaným programovaním, tak primárnu sieť možno prirovnať k hlavnému programu, podsiete k podprogramom a substitučný prechod k volaniu podprogramu.

My sa v ďalšom zameriame nie na celú Petriho sieť zriaďovacej stanice, ale iba na podsieť zobrazujúcu technologické spracovanie končiaceho vlaku. Pri jej tvorbe podľa opísaného sieťového grafu sa najprv postupovalo podľa vyššie opísaných pravidiel. Vytvorená sieť bola neskôr doplnená o ďalšie prvky. Tieto úpravy teraz opíšeme.



Obr. 3 Prvá časť Petriho siete technologického postupu obsluhy končiaceho vlaku v zriadovacej stanici.

Ako prvé spomenieme miesta, ktoré spájajú túto sieť s nadradenou sieťou v rámci hierarchie. Ide o tzv. miesta prenosu (port places), ktoré majú obidve siete spoločné a ktoré slúžia na odovzdávanie značiek medzi sieťami. Na vstupe do tejto podsiete možno vidieť miesto *Vstupujúce vlaky* (navrchu Obr. 3) a na výstupe miesto *Pohybujúci sa vagon* a *Vagon bol oddelený* (naspodku Obr. 5). Prenosové miesta slúžia podobne ako parametre a návratové hodnoty podprogramov. Keby bola skúmaná sieť samostatná, bez vzťahov s inými časťami väčšej siete, prenosové miesta by sa v nej nenachádzali.



Obr. 4 Druhá časť Petriho siete technologického postupu obsluhy končiaceho vlaku v zriaďovacej stanici.

Ďalšími doplnenými prvkami sú tzv. splyvajúce miesta (anglicky fusion places), ktoré umožňujú zdieľať jedno miesto v rôznych častiach siete, buď v rámci stránky alebo medzi stránkami. Je to

obdobné ako použitie lokálnych, resp. globálnych premenných na rôznych miestach v hlavnom programe alebo podprograme konvenčného programovacieho jazyka.

V našej sieti môžeme nájsť obidva druhy splyvajúcich miest. Lokálne splyvajúce miesta reprezentujú niektoré fiktívne hrany zo sieťového grafu na Obr. 2: ide o miesta *Fikt1_1**, *Fikt1_2*, *Fikt2_1*, *Fikt2_2*, *Fikt4_1*, *Fikt4_2* (Petriho sieť na Obr. 3 a Obr. 4), ktoré nahrádzajú po dvojiciach 3 fiktívne hrany v sieťovom grafe [5,10], [5,14] a [12,22]. Ich použitie pomohlo sprehľadniť Petriho sieť tým, že sa nekrižujú hrany medzi sebou tak, ako je to v sieťovom grafe.

Druhý druh, globálne splyvajúce miesta sa nachádzajú vo viacerých sieťach hierarchického modelu a nesú údaje o prvkoch v modeli:

1. *IFT*_Volne kolaje-vchod* (* zastupuje číslice, * = 1..2, čiže ide o 2 miesta) – pre značky reprezentujúce voľné koľaje vo vchodovej skupine pre končiace vlaky
2. *L*_Rusne* (* = 1..2) – všetky modelované rušne, vlakové i posunovacie, prítomné v modeli
3. *IHP*_Personal-vchod* (* = 1..4) – obslužný personál pre vchodovú skupinu – zahŕňa všetky modelované osoby, aktuálne pracujúce i voľné
4. *DOT*_Detaily o vlakoch* (* = 1..2) – pre značky s údajmi o prítomných vlakoch (napr. skladba súpravy, číslo)
5. *PTOT*_Vlaky pritomne na kolajach* (* = 1..4) – údaje o vlakoch stojacich na koľajách (číslo vlaku, číslo koľaje a dĺžka vlaku)

Globálne splyvajúce miesta plnia v tomto modeli dve funkcie. Prvé tri druhy miest modelujú množiny obslužných zdrojov príslušných druhov, čo je základným prvkom tohto modelu. Štvrtý a piaty druh pomáha pri zefektívnení a sprehľadnení modelu – miesta sústredia údaje o dĺžke a zložení súpravy vlaku a ním obsadenej koľaji v značkách, ktoré sa používajú iba v tých častiach siete, kde sú potrebné. Vďaka tomu sa nemusia prenášať cez celú sieť zbytočne ako súčasť značiek symbolizujúcich vykonávanie technológie.

Posledná úprava Petriho siete technologického postupu sa týka modelovania riadenia obslužných zdrojov. Ich modelovanie v simulačnom modeli, z ktorého sme vychádzali 5, nie je explicitne zachytené v sieťovom grafe obslužnej technológie (Obr. 2). Nachádzajú sa v oddelených údajových štruktúrach, ktoré sa používajú v algoritmoch v rámci vykonávania riadiacich činností technologického grafu.

V Petriho sieti sa však úroveň sieťového grafu a riadenia obslužných zdrojov stretávajú. Z toho dôvodu sú v sieti prítomné miesta obsahujúce značky reprezentujúce obslužné zdroje – ide o vyššie naznačené tri druhy globálnych splyvajúcich miest a miesta *Množina správ* (Obr. 3) a *Pahorok* (Obr. 5), ktoré zabezpečujú pridelenie vstupného zhlavia do vchodovej skupiny a pahorku spolu s prísunovou cestou.

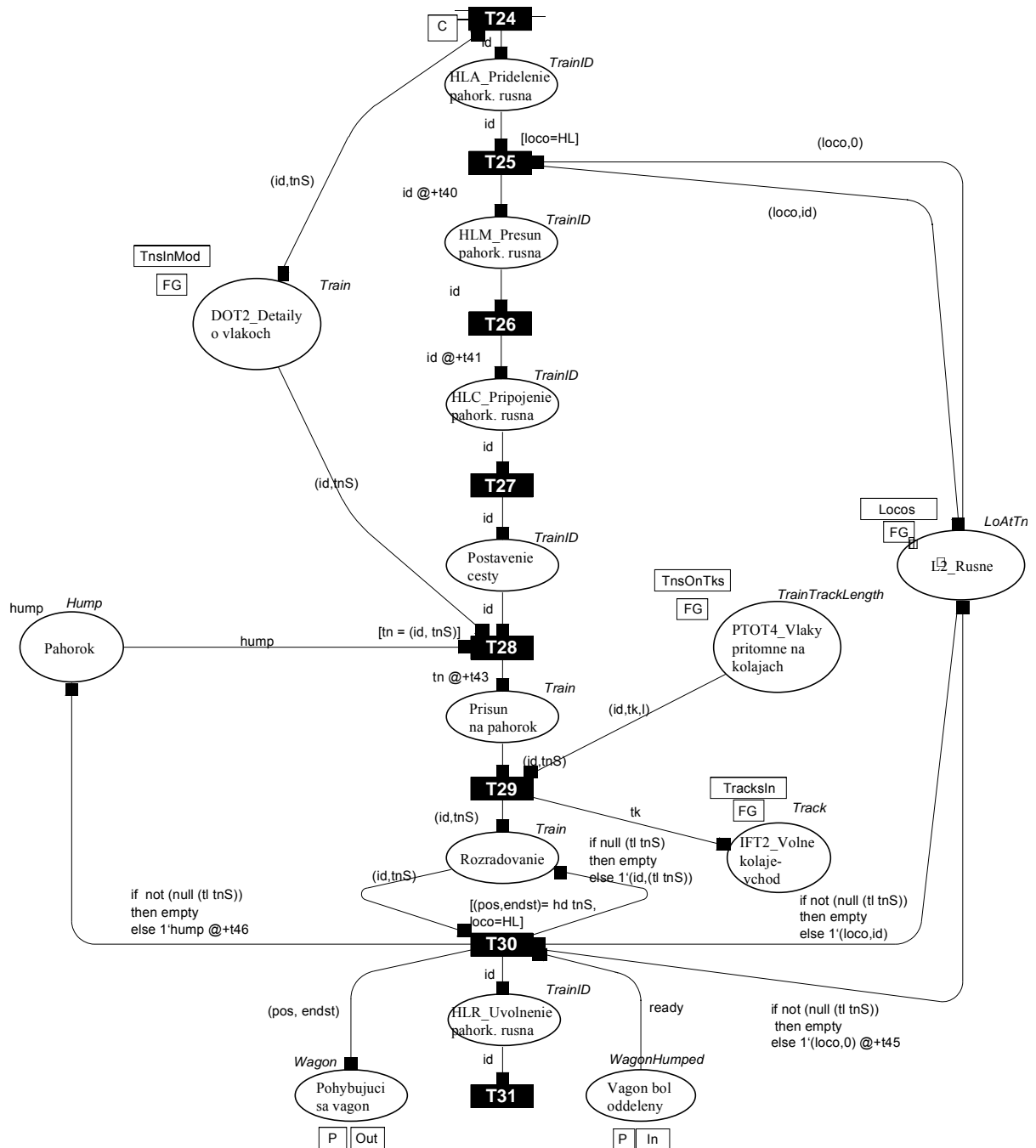
Riadenie obslužných zdrojov pozostáva z výberu zdroja požadovanej profesie z príslušného miesta a jeho pridelenia žiadajúcemu technologickému procesu na obsluhu, a z uvoľnenia zdroja po skončení jeho práce pri obsluhu požiadavky. V sieťovom grafe (Obr. 2) sa na to používajú hrany pridelenie zdroja a uvoľnenie zdroja, napr. *Pridelenie vozmajstra* (hrana [3, 6] v sieťovom grafe) a *uvoľnenie vozmajstra* ([8, 24]). Obidve tieto hrany majú nulové trvanie a slúžia na zaznamenanie zmeny stavu obslužného zdroja a procesu obsluhy. Vykonanie postupu zdržia iba vtedy, ak požadovaný zdroj nie je pri pridelení voľný.

V Petriho sieti je realizácia týchto úkonov trochu odlišná. Zmeny stavu zdrojov a obslužných procesov sa vykonávajú na prechodoch, a nie na miestach, čo by bolo analógiou sieťového grafu podľa vyššie opísaného prevodu. Napríklad pridelenie vozmajstra sa v Petriho sieti nevykoná v mieste *EA_Pridelenie vozmajstra*, ale až na prechode *T6* (Obr. 3). Preto by bolo výstižnejšie použiť na príslušnom mieste slovo *vyžiadanie* namiesto slova *pridelenie*.

· Pozn. Označenie uzlov vyplýva z potreby jednoznačne identifikovať v rámci jednej stránky každé miesto a prechod v rámci prvých ôsmich znakov ich pomenovania – obmedzenie modelovacieho nástroja. Preto sa v názvoch viacerých miest vyskytujú na začiatku písmenové skratky, často v kombinácii s číslom.

Podobná situácia je aj pri uvoľnení zdroja, kde tento je procesu odobratý pri vykonaní prechodu pred miestom symbolizujúcim tento úkon podľa sieťového grafu. Napr. uvoľnenie vozmajstra sa v Petriho sieti nevykoná na mieste *ER_Uvolnenie vozmajstra*, ale na jemu predchádzajúcom prechode *T8* (Obr. 4). Takže aj tu by bolo vhodnejšie nazývať miesto presnejšie, napr. *Vozmajster uvoľnený*.

Tento rozdiel medzi modelovacími formalizmami je daný princípmi ich fungovania.



Obr. 5 Tretia časť Petriho siete technologického postupu obsluhy končiaceho vlaku v zriadovacej stanici.

5 ZÁVER

V článku sme opísali, ako možno vytvoriť Petriho sieť technologického postupu obsluhy vlaku na základe hranovo definovaného sieťového grafu. Dokumentovali sme to na príklade Petriho siete pre

obsluhu končiaceho vlaku, ktorá bola vytvorená v rámci hierarchie komplexnejšej Petriho siete pre systém zriaďovacej stanice.

Tvorba pozostáva zo základného prevodu sieťového grafu na Petriho sieť doplneného o prvky modelujúce obslužné zdroje a prvky sprehľadňujúce grafický vzhľad siete (lokálne splývajúce miesta). Keďže uvedená sieť je súčasťou hierarchického modelu, obsahuje ešte navyše prenosové a globálne splývajúce miesta, ktoré definujú vzťahy k ďalším častiam modelu.

Uvedená Petriho sieť v rámci hierarchického modelu bude použitá na skúmanie problematických situácií pri pridelovaní obslužných zdrojov žiadajúcim procesom pri spracovaní v zriaďovacej stanici, a z nich vyplývajúce uviaznutia činnosti systému.

LITERATÚRA

- [1] Adamko, N., Sadloň, : Aplikácia sieťových grafov v simulačných modeloch železničných uzlov, Zborník konferencie Infotrans 2003, Pardubice, 2003
- [2] Češka, M.: Petriho sítě, Akademické nakladatelství CERM Brno, 1994, ISBN 80-85867-35-4
- [3] Desel, J., Juhás, G.: "What is a Petri Net?" Informal answers for the informed reader. In: H. Ehrig et al. (Eds.): Unifying Petri Nets, LNCS 2128, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2001, pp. 1-25, ISBN 3540430679
- [4] Palúch, S.: Teória grafov. <http://frcatel.utc.sk/users/paluch/index.php>
- [5] Sadloň, L.: Simulačný model železničnej zriaďovacej stanice, Kandidátska dizertačná práca, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Žilinská univerzita v Žiline, 1995, Žilina
- [6] Sládeček, K.: Model železničnej stanice prostredníctvom Petriho siete, diplomová práca, Fakulta riadenia a informatiky, Žilinská univerzita v Žiline, 2004, Žilina
- [7] Zaťko, M., Adamko, N.: Softwarový nástroj VirtuOS – simulácia železničného uzla, Zborník konferencie Infotrans 2002, Pardubice, 2002
- [8] Žarnay, M.: Use of Petri Net for Modelling of Traffic in Railway Stations, In: Proceedings of international conference Infotrans 2004, February 2004, Pardubice
- [9] Žarnay, M., Sládeček, K., Cenek, P.: Modelling of Marshalling Yard Technology with Help of Petri Net, Journal of Information, Control and Management Systems 1/2006, Fakulta riadenia a informatiky, Žilinská univerzita, Žilina, 2006 (v tlači)
- [10] <http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/> - Petri Nets World: Online Services for the International Petri Nets Community
- [11] <http://www.daimi.au.dk/designCPN/> - Design/CPN - Computer Tool for Coloured Petri Nets

Abstrakt

Článok opisuje prevod sieťového grafu technologického postupu obsluhy vlaku v zriaďovacej železničnej stanici na Petriho sieť. Prevod vychádzal zo štandardného vzťahu Petriho siete a značkového grafu ako jej modelovacej podtriedy. Okrem toho sa vyskytli špecifiká dané použitou kategóriou Petriho siete, ktorá zahŕňa farby, čas a hierarchiu, a modelovacím nástrojom Design/CPN. Najvýznamnejším doplnením sú miesta modelujúce obslužné zdroje pre technológiu. Tie sa v pôvodnom sieťovom grafe nevyskytujú, čo je dané jeho definíciou v prostredí simulačného nástroja Villon.

Summary

Article describes a transformation of flowchart to a Petri net. The flowchart defines a technological process of servicing a train in railway marshalling yard.

The transformation is based on standard relation between Petri net and its modelling subclass, marking graph. In addition to that, there are specifics given by Petri net category used, which includes colours, time and hierarchy, and by modelling tool Design/CPN. The most significant addition is places that represent technology servicing resources. In the original flowchart, the resources are placed in details of activities, as it is defined by use of flowchart in the environment of the Villon simulation tool.