

PŘÍSPĚVEK O MOŽNÉM VYUŽÍVÁNÍ P/T PETRIHO SÍTÍ PŘI NAVRHOVÁNÍ SVĚTELNÉHO ŘÍZENÍ KŘÍŽOVATEK

PAPER ON POSSIBLE USE OF P/T PETRI NETS FOR DESIGNING LIGHT CONTROL CROSSROADS

Michal Turek¹

Anotace: Příspěvek se zabývá navrhováním logiky řízení světelných křižovatek Petriho sítěmi. V první části příspěvku je uvedeno definování problému a proveden teoretický rozbor Petriho sítí. V další části příspěvku je proveden návrh logiky řízení světelné křižovatky na základě Petriho sítí. V závěrečné části je provedeno vyhodnocení.

Klíčová slova: Křižovatka, Petriho síť, světelné řízení

Summary: The paper deals with the design of logic control traffic lights Petri nets. The first part is defining the problem and provided a theoretical analysis of Petri nets. In another part of the paper is to make design of logic control traffic lights based on Petri nets. In the final part is an evaluation.

Key words: Crossroads, Petri net, light control

1. ÚVOD

Zvyšující se zájem o individuální automobilovou dopravu ve 20. století představuje vzrůstající počty vozidel na jednoho obyvatele, což však na přetížených komunikacích a křižovatkách přináší zpomalování, resp. zastavování vozidel vedoucího ke vzniku kongescí, které jsou příčinou enormního a nadbytečného znečišťování ovzduší a souvisejících negativních vlivů. Z hlediska vzniku kongescí jsou nejkritičtějšími místy ve městech křižovatky a jejich okolí, situace může být kritická především u neřízených křižovatek. Za účelem odstraňování uvedených problémů na křižovatkách se vypracovávají návrhy úprav ve více variantách s dopravně ekonomickým posouzením vzhledem k životnosti řešení. Na základě dopravního a ekonomického posouzení je nutné vyhledat z dlouhodobého hlediska co nejpříznivější řešení.

2. MOTIVACE

Vzhledem k tomu, že Petriho sítě představují nástroj určený k modelování a analýze procesů, lze předpokládat jejich možné uplatnění i při návrhu řídicí logiky světelných křižovatek. Řídicí logika světelných křižovatek musí z důvodu zachování základního principu světelného řízení křižovatek umožnit současné jízdy pouze nekolizním, resp. podmíněně kolizním dopravním proudům, aby byla zajištěna bezpečnost a plynulost provozu.

¹ Ing. Michal Turek, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: +420 721 846 776, E-mail: michal.turek@atlas.cz

V případě, že pro návrh řídicí logiky využijeme kromě uznávaných konvenčních přístupů [1], příp. [2], také Petriho sítí, pak můžeme použít libovolnou Petriho síť, protože veškeré Petriho sítě obsahují prvky, jimiž lze modelovat všechny rozhodující aspekty světelně řízené křižovatky (návěstidla, světelné signály, změny světelných signálů).

Z široké skupiny Petriho sítí lze pro návrh logiky řízení světelných křižovatek využít především P/T Petriho sítí, protože obsahují pouze prvky, resp. vlastnosti těchto prvků, které pro návrh řídicí logiky postačují. Další studium problematiky pak může poukázat na složitější typy Petriho sítí, kterých bude muset být využíváno. Při vytváření struktury P/T Petriho sítě se prvky sestavují tak, aby prostřednictvím pravidel pro uskutečňování přechodů byl splněn základní princip světelného řízení křižovatek, tj. zajištěno správné přepínání světelných signálů na návěstidlech světelného signalizačního zařízení a koordinace tohoto přepínání u všech světelných návěstidel pro jednotlivé směry.

3. PETRIHO SÍTĚ

Petriho sítěmi je označována široká třída diskretních matematických modelů, které umožňují popisovat specifickými prostředky řídicí toky a informační závislosti uvnitř modelovaných systémů. Více než čtyřicetiletá historie Petriho sítí je charakterizována postupným rozvojem jednotlivých Petriho sítí, při kterém byly na základě jednoduchých Petriho sítí vytvářeny složitější Petriho sítě, jenž jsou definovány jako Petriho síť vysoké úrovně.

Petriho síť vysoké úrovně umožňují zohlednění mnoha aspektů, např. zahrnutí pojmu času, resp. trvání, vytváření hierarchické struktury nebo provázání různých částí systému (např. světelných signálů na světelných signalizačních zařízeních a intenzit jednotkových vozidel) prostřednictvím různých typů tokenů, čímž bude docíleno dokonalejší úrovně modelování reálných problémů.

V dalším textu budou podrobněji popsány P/T Petriho sítě, které mohou být použity pro návrh logiky řízení světelných křižovatek. Uvedený popis P/T Petriho sítí, grafické vyjádření P/T Petriho sítí a definování pravidel pro uskutečňování přechodů v P/T Petriho sítích lze v určité míře vztáhnout na libovolnou Petriho síť.

3.1 P/T Petriho síť

P/T Petriho síť tvoří místa (*places*), přechody (*transitions*), orientované hrany (*arcs*) a značky (*tokens*). Každému místu p je přiřazena kapacita k udávající maximální počet tokenů, který se v místě p může současně nacházet a každé hraně a je přiřazena násobnost w udávající maximální počet tokenů, který se po hraně a může současně přesunovat. Kapacity míst a násobnosti hran jsou představovány ohodnocením míst, resp. ohodnocením hran. Místo p bez ohodnocení je považováno za místo s neomezenou kapacitou. Hrana a bez ohodnocení je považována za jednoduchou (s násobností 1).

Změny stavů P/T Petriho sítí se uskutečňují podle následujících zásad [5]:

- stav sítě je určen značením, tj. počtem tokenů v každém místě,
- místo p patří do vstupní množiny přechodu t , jestliže z místa p vede orientovaná hrana do přechodu t ,
- místo p patří do výstupní množiny přechodu t , jestliže z přechodu t vede orientovaná hrana do místa p ,
- přechod t je proveditelný, jestliže pro každé místo p vstupní množiny přechodu t platí, že obsahuje alespoň tolik tokenů, kolik činí násobnost hrany vedoucí z místa p do přechodu t ,
- přechod t je proveditelný, jestliže pro každé místo p výstupní množiny přechodu t platí, že násobnost hrany vedoucí z přechodu t do místa p nepřevyšuje kapacitu místa p ,
- při změně stavu se nejdříve počet tokenů v každém vstupním místě p přechodu t zmenší o násobnost hrany w spojující místo p s přechodem t a následně se počet tokenů v každém výstupním místě p přechodu t zvětší o násobnost hrany w spojující přechod t s místem p .



Zdroj: Autor

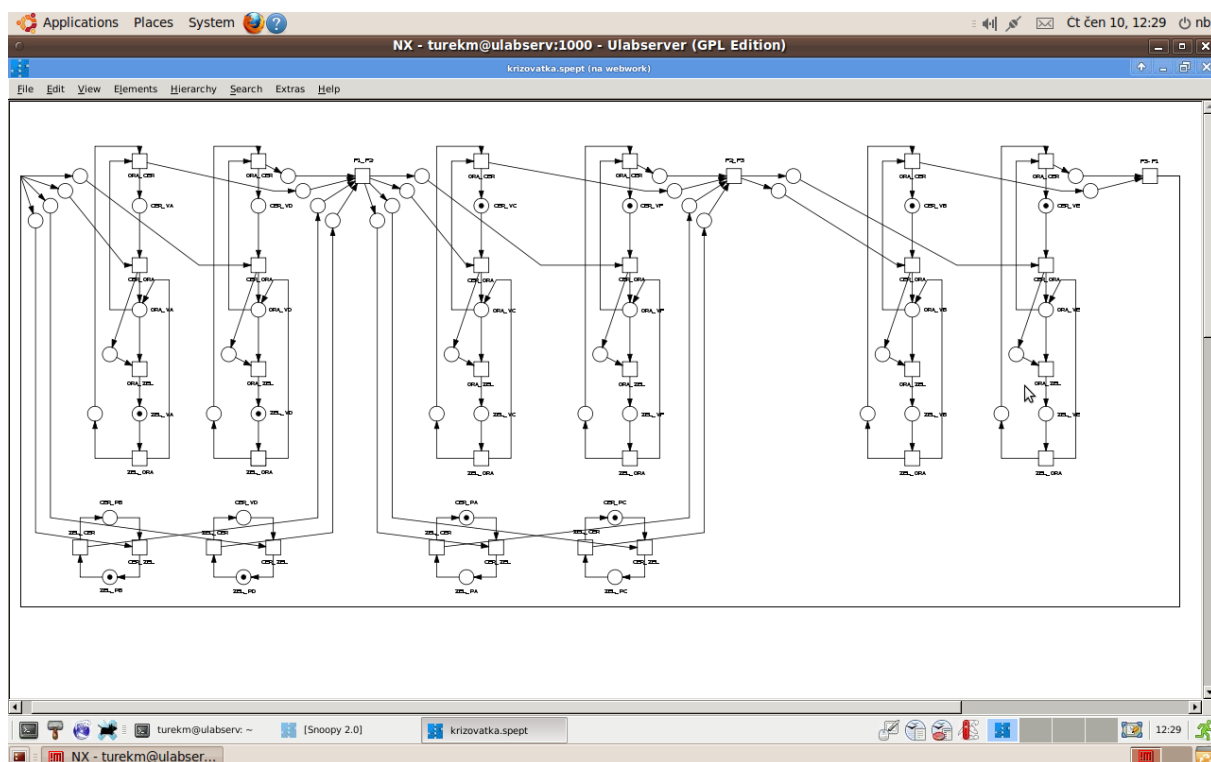
Obr. 1 - Příklad změny stavu v P/T Petriho síti

4. SOFTWARE PRO SESTAVENÍ PETRIHO SÍTÍ

Při návrhu světelného řízení byl využit pro sestavení a simulaci Petriho sítě software Snoopy a Pipe2. V následující části příspěvku bude provedeno seznámení s uvedenými software.

4.1 Software Snoopy

Při spuštění software se zadává v nabídce *Templates* (šablony) typ Petriho sítě, se kterou bude dále pracováno. Po zadání typu Petriho sítě se kromě základní obrazovky umožňující práci se souborem zobrazí také obrazovka umožňující sestavení Petriho sítě prostřednictvím přehledného menu a pracovní plochy (Obr. 2). Výběrem příslušné položky z menu se sestavují jednotlivé prvky Petriho sítě na pracovní plochu, přičemž u každého místa je možné definovat *Name* (název), *Marking* (značení), *Comment* (komentář) a *Graphic* (grafickou podobu), u každého přechodu je možné definovat *Name* (název), *Comment* (komentář) a *Graphic* (grafickou podobu), pro každou hranu je možné definovat *Multiplicity* (násobnost), *Comment* (komentář) a *Graphic* (grafickou podobu). Po sestavení Petriho sítě se výběrem položky *Start Anim-mode* zadávají parametry simulace *Refresh* (obnovení), *Duration* (trvání) *Stepping* (posílení) a následně může dojít ke spuštění simulace. Simulace v software Snoopy je velmi přehledná, protože se tokeny přesouvají po jednotlivých hranách a jsou zvýrazněny červenou barvou.

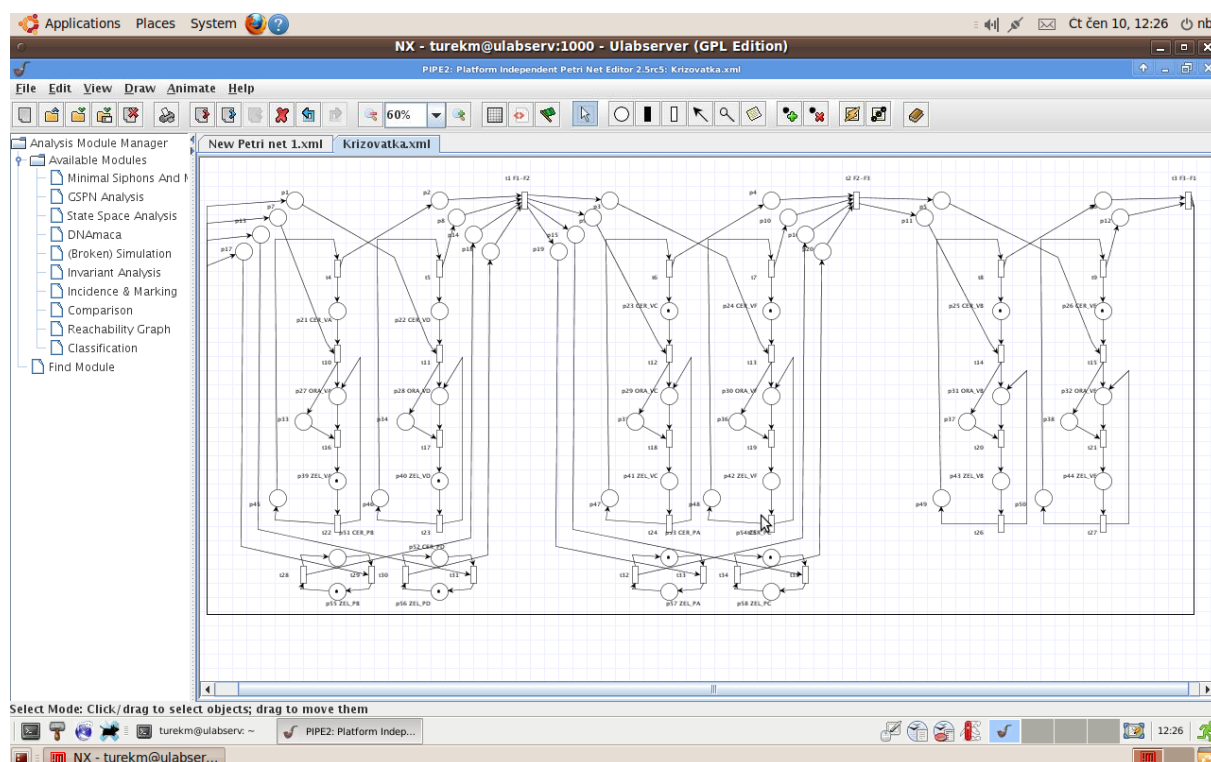


Zdroj: Autor

Obr. 2 - Pracovní prostředí software Snoopy

4.2 Software Pipe2

Při spuštění software se zobrazí menu a obrazovka rozdělená na dvě části (Obr. 3), v jedné části se nachází *Analysis Module Manager* umožňující rozšířenou analýzu Petriho sítí a druhá část představující pracovní plochu, v níž se Petriho sítě sestavují. Výběrem příslušné položky z menu se sestavují odpovídající prvky Petriho sítě na pracovní plochu, přičemž u každého místa je možné definovat *Name* (název), *Marking* (značení), *Capacity* (kapacita), u každého přechodu je možné definovat *Name* (název), *Rate* (sazba) a *Timing* (časování), pro každou hranu je možné definovat *Multiplicity* (násobnost). Po sestavení Petriho sítě se definuje přechod, po němž dojde k ukončení simulace, a následně může dojít ke spuštění simulace. Při simulaci v software Pipe2 nedochází k přesunu tokenů po hranách, pouze se mění počty tokenů v jednotlivých místech, což snižuje přehlednost.



Zdroj: Autor

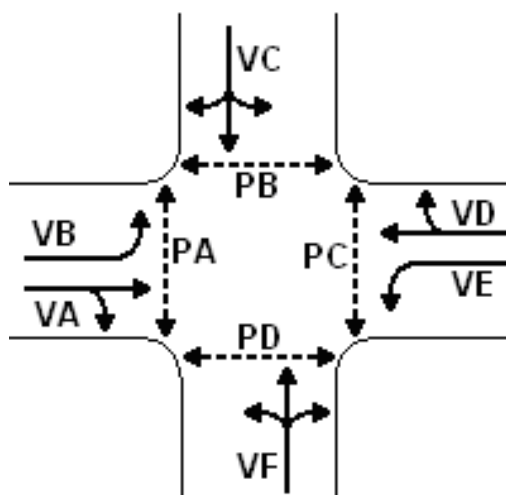
Obr. 3 - Pracovní prostředí software Pipe2

5. NÁVRH ŘÍZENÍ SVĚTELNÉ KŘÍŽOVATKY PETRIHO SÍTĚMI

Za účelem dalšího zkoumání, kterým se budu zabývat v rámci disertační práce, byla navržena logika řízení světelné křižovatky prostřednictvím Petriho sítí. Kroky, které je nutné při návrhu logiky řízení světelných křižovatek provést, jsou popsány v následující části příspěvku.

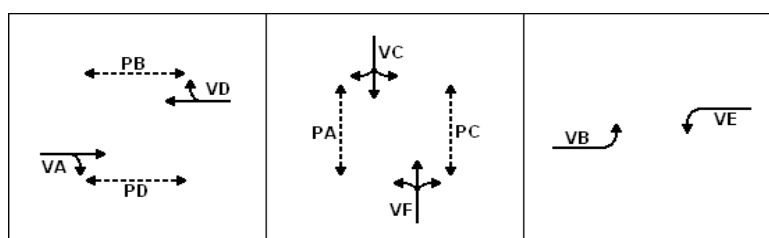
5.1 Analýza vstupních podkladů

Pro návrh logiky řízení světelné křižovatky byly zohledněny následující vstupní podklady: schéma vzorové křižovatky (Obr. 4) a fázové schéma (Obr. 5), prostřednictvím kterého se zajišťují časové intervaly, v nichž mají současně volno určité, zpravidla nekolizní dopravní pohyby na křižovatce. Pro návrh světelného řízení je pochopitelně zapotřebí ještě celá řada údajů, ty však s návrhem řídicí logiky nesouvisí.



Zdroj: Autor

Obr. 4 - Schéma vzorové křižovatky



Zdroj: Autor

Obr. 5 - Fázové schéma vzorové křižovatky

5.2 Sestavení Petriho sítě

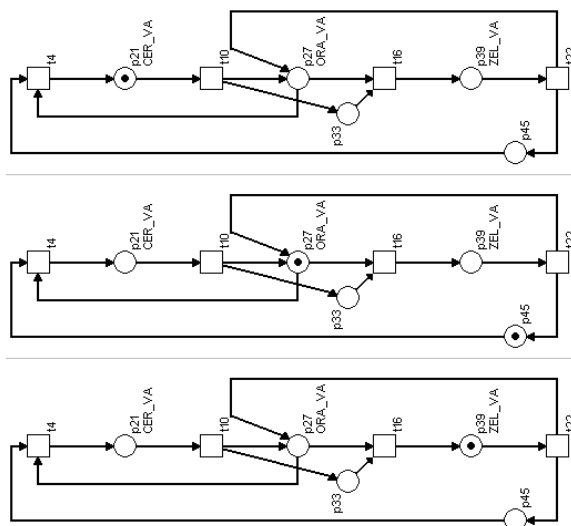
Před sestavením Petriho sítě byl stanoven význam prvků v zamýšlené Petriho síti. Místa v Petriho síti budou představovat světelné signály na návěstidlech SSZ, přechody v Petriho síti budou představovat okamžiky, při kterých dochází k přepínání světelných signálů, orientované hrany v Petriho síti umožňují realizovat změny stavů a aktuální poloha tokenu bude reprezentovat aktuální návěstní znak.

Při sestavování Petriho sítě se vychází z fázového schématu, v tomto případě se jednalo o fázové schéma uvedené na obrázku 5. Nejdříve byla sestavena část Petriho sítě představující první fázi, resp. světelné signály na návěstidlech pro dopravní proudy, které se v první fázi vyskytují, následně byla sestavena část Petriho sítě představující druhou fázi, resp. světelné signály na návěstidlech pro dopravní proudy, které se vyskytují ve druhé fázi a část Petriho sítě představující třetí fázi, resp. světelné signály na návěstidlech pro dopravní proudy, které se vyskytují ve třetí fázi. Na závěr byly části Petriho sítě propojeny tak, aby mohlo docházet ke střídání fází v rámci cyklu.

V takto sestavené Petriho síti byl z důvodu zachování základního principu světelného řízení křižovatek proveden návrh řídicí logiky, jenž spočíval ve dvou etapách:

1. etapa - návrh správných posloupností jednotlivých světelných signálů na návěstidle.
2. etapa - návrh správných posloupností jednotlivých světelných signálů u jednotlivých návěstidel zajišťující správné přechody mezi fázemi.

V první etapě bylo zajištěno, že po světelném signálu zeleného světla bude zařazen světelný signál oranžového světla a světelný signál červeného světla. Dále bylo zajištěno, že po světelném signálu červeného světla bude zařazen světelný signál oranžového světla a světelný signál zeleného světla. Na obrázku 6 a 7 je uvedeno, jak pomocí P/T Petriho sítě navrhnout správnou aktivaci návěstních znaků na návěstidle.

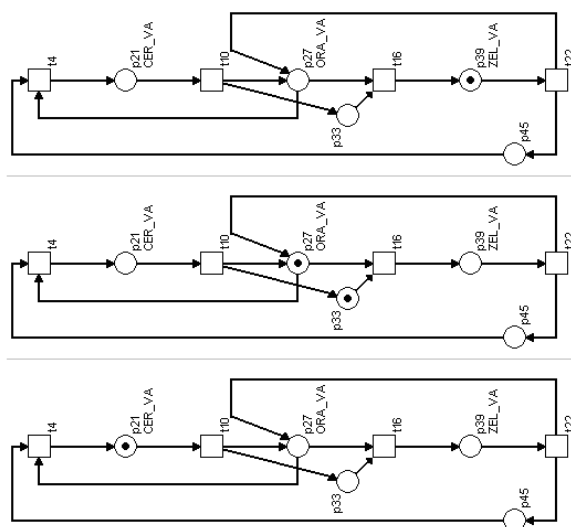


Zdroj: Autor

Obr. 6 - Změna světelného signálu zeleného světla

Komentář k principu uvedeném na obrázku 6:

Po světelném signálu zeleného světla p39 se prostřednictvím přechodu t22 přesouvá token do místa představujícího světelný signál oranžového světla p27 a doplňujícího místa p45, následně může dojít pouze k přechodu t4, při kterém se token přesouvá do místa představujícího světelný signál červeného světla p21.



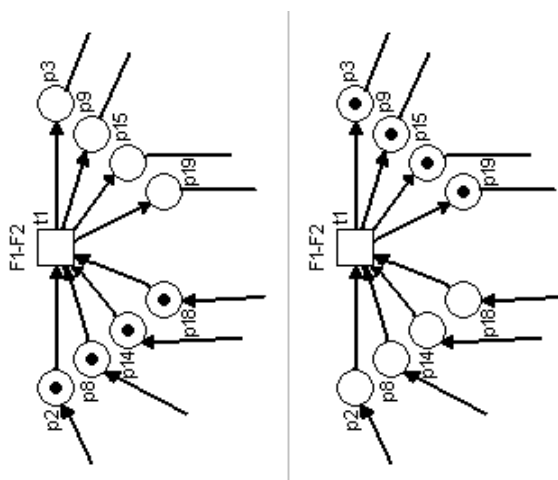
Zdroj: Autor

Obr. 7 - Změna světelného signálu červeného světla

Komentář k principu uvedeném na obrázku 7:

Po světelném signálu červeného světla p21 se prostřednictvím přechodu t10 přesouvá token do místa představujícího světelný signál oranžového světla p27 a doplňujícího místa p33, následně může dojít k přechodu t16, při kterém se token přesouvá do místa představujícího světelný signál zeleného světla p39.

Ve druhé etapě bude zajištěno, aby signály zeleného světla v následující fázi mohly nastat až poté, co v předchozí fázi nastaly signály červeného světla, prostřednictvím principu uvedeného na obrázku 8.



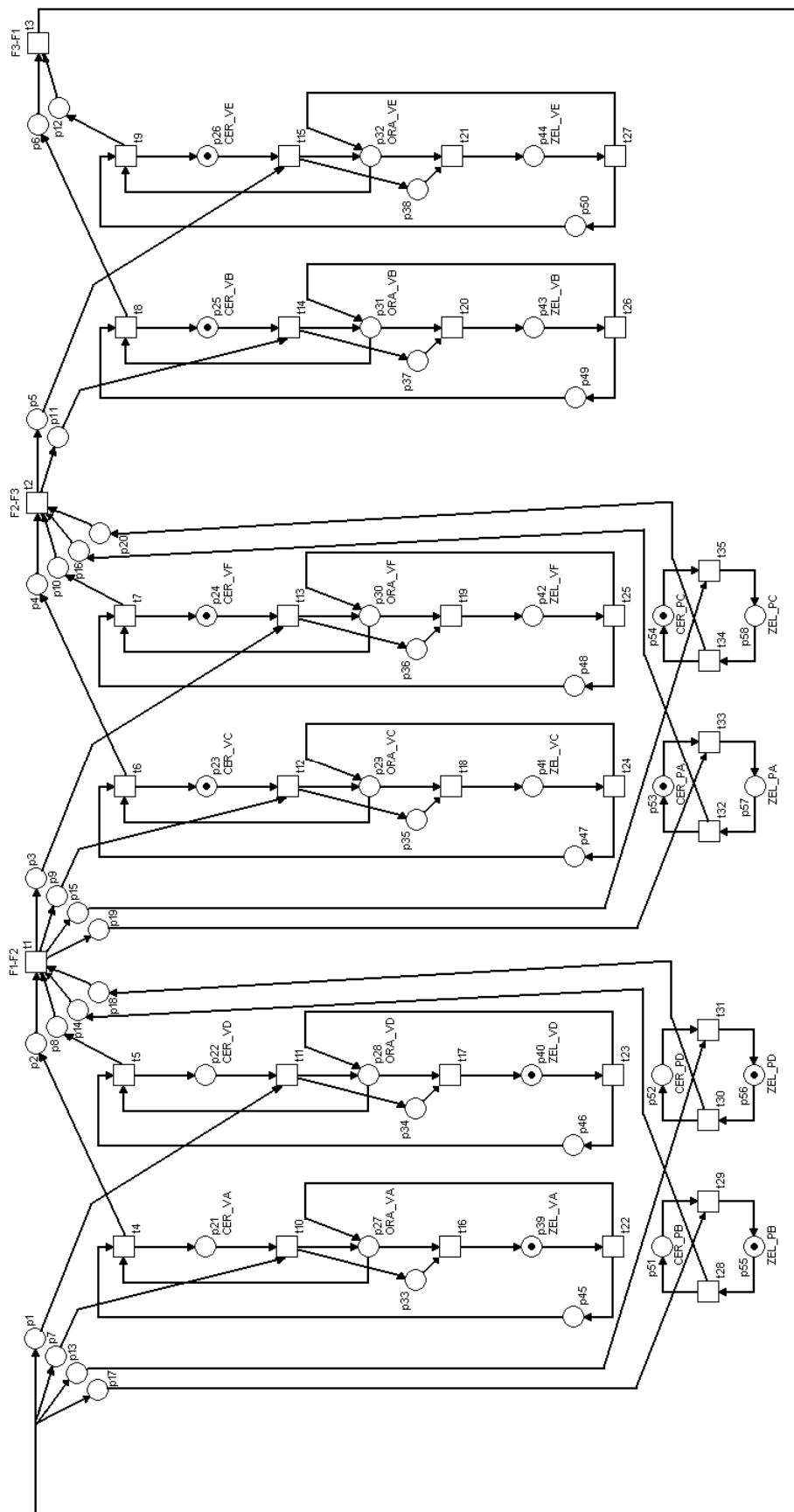
Zdroj: Autor

Obr. 8 - Změna fází

Komentář k principu uvedeném na obrázku 8:

Současně s umístěním tokenů do míst představujících světelný signál červeného světla pro dopravní proudy, které vyskytují v předchozí fázi, se přesouvají tokeny také do doplňkových míst p2, p8, p14, p18, jež představují vstupní místa přechodu t1. Uskutečněním přechodu t1 je následně realizována změna fází. Po změně fází se nacházejí tokeny v doplňkových místech p3, p9, p15, p19, jež představují výstupní místa přechodu t1 a mohou tak nastat světelné signály zeleného světla pro dopravní proudy, které se vyskytují v následující fázi.

Sestavená Petriho síť, do které byly aplikovány požadavky na zachování základního principu světelného řízení, je uvedena na obrázku 9.



Obr. 9 - Návrh řídicí logiky světelné křižovatky v P/T Petriho síti

Zdroj: Autor

6. ZÁVĚR

Pro návrh logiky řízení světelných křižovatek splňující základní princip světelného řízení křižovatek a zajišťující správné přepínání světelných signálů na návěstidlech světelného signalizačního zařízení byla sestavena P/T Petriho síť v software Snoopy a Pipe2, následně byla spuštěna simulace sestavené P/T Petriho sítě.

Vybrané software mají z hlediska ovládání obdobné vlastnosti. Významný rozdíl mezi software se nachází v případě modelovacích schopností, protože software Pipe2 umožňuje stanovení kapacity jednotlivých míst a časování jednotlivých přechodů, což může být přínosné především při vytváření složitějších návrhů.

Postupným prohlubováním a obohacováním návrhu logiky řízení světelných křižovatek prostřednictvím Petriho sítí, ve kterých bude zohledněna širší množina vstupních podkladů (např. intenzity jednotkových vozidel, trvání světelných signálů), bude možné docílit vytváření signálních plánů v software Pipe2. Petriho sítě tedy mohou nabízet další alternativní způsob, pomocí kterého je možné navrhovat světelné řízení křižovatek.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ČERNÝ, J., KLUVÁNEK, P. *Základy matematickej teorie dopravy*. Bratislava: VEDA, 1990. 279 s. ISBN 80-224-0099-8.
- [2] ČERNÝ, J., ČERNÁ, A. *Teorie řízení a rozhodování v dopravních systémech*. Pardubice: Institut J. Pernera, 2004. 150 s. ISBN 80-86530-15-9.
- [3] TUREK, M. *Návrh světelného řízení křižovatky Dolní - Kralická v Prostějově*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009. 120 s. (Diplomová práce)
- [4] VONDRÁK, J. *Metody byznys modelování*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2004. 92 s. (Učební texty)
- [5] MARKL, J. *Petriho sítě I*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009. 124 s. (Učební texty)
- [6] TUREK, M. Možné využití Petriho sítí při navrhování logiky řízení světelných křižovatek In *Sborník z konference Úlohy diskrétní optimalizace v dopravní praxi 2010*. Pardubice: Univerzita Pardubice. Dopravní fakulta Jana Pernera. Katedra technologie a řízení dopravy, 2010. (v tisku).
- [7] TUREK, M. Navrhování řízení světelných křižovatek Petriho sítěmi In *Sborník z konference Otvorený softvér vo vzdelávaní, výskume a v IT riešeniach*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilíně. Fakulta Riadenia a informatiky. Katedra matematických metód, 2010. (v tisku).
- [8] *Snoopy*.
Dostupné z <http://www-dssz.informatik.tu-cottbus.de/index.html?/software/snoopy.html>.
- [9] *Pipe2*. Dostupné z <http://pipe2.sourceforge.net>.