

# KOORDINACE SILNĚ ZÁVISLÝCH KŘIŽOVATEK V MAX-PLUS ALGEBŘE

## STRONGLY DEPENDENT CROSSROADS COORDINATION IN THE MAX-PLUS ALGEBRA

Michal Turek<sup>1</sup>

---

*Anotace: Příspěvek se zabývá navrhováním koordinace světelného řízení silně závislých křižovatek prostřednictvím Max-plus algebry. V první části je uvedeno definování problému a proveden teoretický rozbor Max-plus algebry. V další části je na základě Max-plus algebry proveden návrh koordinace světelně řízených křižovatek. V závěrečné části je provedeno vyhodnocení.*

*Klíčová slova: Koordinace, křižovatka, světelné řízení, Max-plus algebra.*

*Summary: The paper deals with the coordination of the design of signalized strongly dependent crossroads by using Max-plus algebra. In the first part there is definition of the problem and basic theoretical analysis of Max-plus algebra. In the next section the proposal of signalized crossroads coordination is executed on the basis of Max-plus algebra by using special mathematical software. In the final part there is an evaluation.*

*Key words: Coordination, Crossroads, Signalized control, Max-plus algebra.*

### ÚVOD

Princip světelného řízení křižovatek umožňující současné jízdy pouze nekolizním, resp. podmíněně kolizním dopravním proudům a zajišťující srozumitelné zobrazování návěstí včetně srozumitelného zobrazování změny návěstí na návěstidlech světelného signalizačního zařízení, aby byla zajištěna bezpečnost provozu, a efektivně přiřazovat doby zelené jednotlivým dopravním proudům, aby byla zajištěna plynulost provozu, lze vhodně využít u křižovatek, které mezi sebou mají dostatečně velkou vzdálenost a odpovídají svým charakterem izolovaným křižovatkám, protože vstup dopravních proudů do křižovatky není bezprostředně ovlivňován výstupem dopravních proudů ze sousední křižovatky.

V případě, že se křižovatky nacházejí v malých vzdálenostech, je nutné základní princip světelného řízení rozšířit o koordinaci křižovatek, protože vstup dopravních proudů do jedné křižovatky je bezprostředně ovlivňován výstupem dopravních proudů ze sousední křižovatky. Rozšířením principu světelného řízení o koordinaci dojde k tomu, že koordinované dopravní proudy získají na sousedních křižovatkách shodné doby zelené v odpovídajících časových úsecích, čímž bude zajištěna plynulost provozu na sousedních křižovatkách a pozitivní psychologický vliv na řidiče, kteří budou moci vstoupit do sousedních křižovatek bez

---

<sup>1</sup> 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](mailto:michal.turek@atlas.cz)

omezení rychlosti. Nekoordinovaným dopravním proudům zůstane přiřazována doba zelené obdobně jako u izolovaných křižovatek s tím rozdílem, že některé začátky a konce zelených pro nekoordinované dopravní proudy budou ovlivňovány dobami zelené koordinovaných dopravních proudů, přičemž nesmí dojít k tomu, že nabízená doba zelené pro nekoordinovaný dopravní proud bude nižší než požadovaná doba zelené.

## 1. MOTIVACE

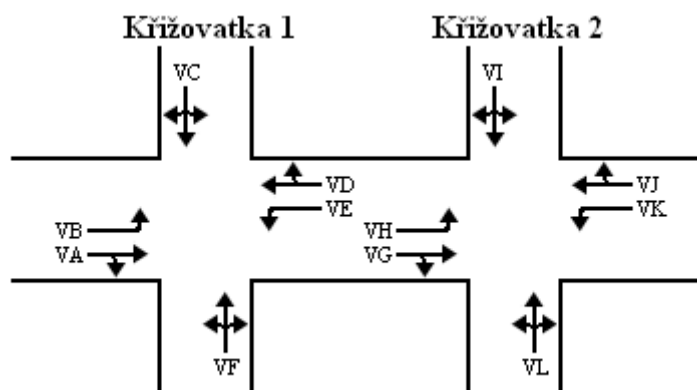
K návrhu koordinace křižovatek lze v současné době použít především technické podmínky TP 81, v nichž je uveden grafický a numerický způsob koordinace křižovatek (1). Dále je možné použít matematický model pro tvorbu signálních plánů soustavy světelně řízených křižovatek, který vychází z matematického modelu pro řízení dopravy na křižovatce vytvořeného řešitelským kolektivem ve Výzkumném ústavu dopravním v Žilině, Černý a kolektiv (2).

Kromě přístupů, které se v současné době pro návrh světelného řízení se zajištěním koordinace křižovatek používají, je vhodné z hlediska efektivity hledat perspektivnější způsoby řešení koordinace křižovatek. Perspektivní řešení koordinace křižovatek představují obsáhlé matematické modely, které ve spojení s výpočtovou silou software řešícího úlohy matematického programování a matematického aparátu Max-plus algebry umožňují efektivně řídit koordinované a nekoordinované dopravní proudy na světelně řízených křižovatkách. Na ověření výstupů získaných z obsáhlých matematických modelů se ukazují perspektivními časově závislé Petriho sítě, které prostřednictvím vizualizace nabízejí dopravním inženýrům poměrně pohodlnou možnost detailní analýzy kritických událostí na křižovatkách (5).

V rámci předloženého článku bude pozornost věnována matematickému aparátu Max-plus algebry a návrhu koordinace křižovatek prostřednictvím tohoto matematického nástroje.

## 2. NÁVRH KOORDINACE 2 KŘÍŽOVATEK

Problematika návrhu koordinace křižovatek byla zpracována pro soustavu křižovatek uvedenou na obr. 1 s ohledem na zásady, že délky cyklu na sousedních křižovatkách mají být shodné a koordinované dopravní proudy mají do křižovatek vstupovat ve fázích, které následují bezprostředně po sobě. Pro zlepšení přehlednosti bude níže uveden podrobný popis koordinace křižovatek.



Zdroj: Autor

Obr. 1 - Schéma soustavy křižovatek

### Popis koordinace křižovatek prostřednictvím fází

#### 1. fáze

Do soustavy křižovatek vstupují koordinované vstupní proudy (VA, VJ) s nekoordinovanými proudy (VB, VK).

#### 2. fáze

Do soustavy křižovatek vstupují koordinované vstupní proudy (VA, VJ) a koordinované výstupní proudy (VD, VG).

#### 3. fáze

Do soustavy křižovatek vstupují koordinované výstupní proudy (VD, VG) s nekoordinovanými proudy (VE, VH).

#### 4. fáze

Do soustavy křižovatek vstupují nekoordinované nekolizní proudy (VC, VF, VI, VL).

### 2.1 Popis vstupních veličin

Nyní budou popsány veličiny, které vystupují v rovnicích Max-plus algebry, a následně bude provedeno modelování koordinace 2 křižovatek.

$V_i$  - vozidlový proud  $i$ ,  $i \in \{A, B, \dots, L\}$ ,

$z_i(k)$  - začátek zelené pro  $i$ -tý vozidlový proud v  $k$ -té skupině,  $i \in \{A, B, \dots, L\}$ ,

$t_i(k)$  - doba zelené pro  $i$ -tý vozidlový proud v  $k$ -té skupině,  $i \in \{A, B, \dots, L\}$ ,

$t$  - doba průjezdu mezi křižovatkami,

$m_{ij}$  - mezičas mezi koncem vstupu  $i$ -tého proudu do křižovatky a začátkem vstupu  $j$ -tého proudu do křižovatky,  $i \in \{A, B, \dots, L\}$ ,  $j \in \{A, B, \dots, L\}$ .

### 2.2 Modelování koordinace křižovatek

V rámci modelování byly sestaveny rovnice Max-plus algebry, které odpovídají základním zásadám koordinace, přičemž popis koordinace křižovatek prostřednictvím fází byl pro samotné potřeby modelování pozměněn na popis koordinace prostřednictvím skupin, které představují obdobu fází, ale umožňují lépe popisovat vozidlové proudy, které se nacházejí ve více fázích. Pro lepší názornost bude níže uveden podrobný popis koordinace křižovatek prostřednictvím skupin.

Popis koordinace křižovatek prostřednictvím skupin

1. skupina

1. skupina obsahuje vozidlové proudy, které se nacházejí v 1. fázi, resp. 1. a 2. fázi (VA, VB, VJ, VK).

2. skupina

2. skupina obsahuje vozidlové proudy, které se nacházejí ve 2. fázi, resp. ve 2. a 3. fázi (VD, VE, VG, VH).

3. skupina

3. skupina obsahuje vozidlové proudy, které se nacházejí ve 4. fázi (VD, VE, VG, VH).

**Model koordinace křižovatek**

1. skupina

$$z_A(k+1) = \max(z_C(k) + t_C(k) + m_{CA}, z_F(k) + t_F(k) + m_{FA}, z_I(k) + t_I(k) + m_{IJ}, z_L(k) + t_L(k) + m_{LJ}) \quad (1)$$

$$z_J(k+1) = \max(z_C(k) + t_C(k) + m_{CA}, z_F(k) + t_F(k) + m_{FA}, z_I(k) + t_I(k) + m_{IJ}, z_L(k) + t_L(k) + m_{LJ}) \quad (2)$$

$$z_B(k+1) = \max(z_C(k) + t_C(k) + m_{CB}, z_F(k) + t_F(k) + m_{FB}, z_I(k) + t_I(k) + m_{IK}, z_L(k) + t_L(k) + m_{LK}) \quad (3)$$

$$z_K(k+1) = \max(z_C(k) + t_C(k) + m_{CB}, z_F(k) + t_F(k) + m_{FB}, z_I(k) + t_I(k) + m_{IK}, z_L(k) + t_L(k) + m_{LK}) \quad (4)$$

Rovnice (1) - (4) zajišťují, že začátek zelené pro vozidlové proudy, které začínají vstupovat do křižovatky v 1. skupině, nastane po uplynutí zelených a příslušných mezcasů pro vozidlové proudy, které byly ukončeny v předchozí skupině.

2. skupina

$$z_D(k+1) = \max(z_B(k) + t_B(k) + m_{BD}, z_K(k) + t_K(k) + m_{KG}) \quad (5)$$

$$z_G(k+1) = \max(z_B(k) + t_B(k) + m_{BD}, z_K(k) + t_K(k) + m_{KG}) \quad (6)$$

$$z_E(k+1) = \max(z_A(k) + t_A(k) + m_{AE}, z_J(k) + t_J(k) + m_{JH}) \quad (7)$$

$$z_H(k+1) = \max(z_A(k) + t_A(k) + m_{AE}, z_J(k) + t_J(k) + m_{JH}) \quad (8)$$

Rovnice (5) - (8) zajišťují, že začátek zelené pro vozidlové proudy, které začínají vstupovat do křižovatky ve 2. skupině, nastane po uplynutí zelených a příslušných mezičasů pro vozidlové proudy, které byly ukončeny v předchozí skupině.

3. skupina

$$z_C(k+1) = \max(z_D(k) + t_D(k) + m_{DC}, z_E(k) + t_E(k) + m_{EC}, z_G(k) + t_G(k) + m_{GI}, z_H(k) + t_H(k) + m_{HI}) \quad (9)$$

$$z_I(k+1) = \max(z_D(k) + t_D(k) + m_{DC}, z_E(k) + t_E(k) + m_{EC}, z_G(k) + t_G(k) + m_{GI}, z_H(k) + t_H(k) + m_{HI}) \quad (10)$$

$$z_F(k+1) = \max(z_D(k) + t_D(k) + m_{DF}, z_E(k) + t_E(k) + m_{EF}, z_G(k) + t_G(k) + m_{GL}, z_H(k) + t_H(k) + m_{HL}) \quad (11)$$

$$z_L(k+1) = \max(z_D(k) + t_D(k) + m_{DF}, z_E(k) + t_E(k) + m_{EF}, z_G(k) + t_G(k) + m_{GL}, z_H(k) + t_H(k) + m_{HL}) \quad (12)$$

Rovnice (9) - (12) zajišťují, že začátek zelené pro vozidlové proudy, které začínají vstupovat do křižovatky ve 3. skupině, nastane po uplynutí zelených a příslušných mezičasů pro vozidlové proudy, které byly ukončeny v předchozí skupině.

### 3. MATEMATICKÝ APARÁT MAX-PLUS ALGEBRY

Max-plus algebra představuje matematický nástroj, v němž se aritmetická operace lineární algebry sčítání nahrazuje určováním maxima a aritmetická operace lineární algebry násobení se nahrazuje sčítáním. Jedná se tedy o originální aplikace nelineární algebry při řešení synchronizačních problémů a nový přístup k řešení optimalizačních problémů, který může být použit pro návrh světelného řízení křižovatek a jejich koordinaci. Podrobnější informace o Max-plus algebře jsou uvedeny v literatuře (3), (4).

### 4. VZOROVÝ PŘÍKLAD KOORDINACE KŘÍŽOVATEK

Záměrem je stanovit prostřednictvím vlastního čísla a vlastního vektoru v Max-plus algebře určitou skupinu začátků zelených pro vozidlové proudy ve vybraných délkách cyklu, které se opakují.

#### 4.1 Analýza vstupních podkladů

Před zajištěním koordinace na vzorové soustavě průsečných křižovatek prostřednictvím Max-plus algebry byla provedena analýza vstupních podkladů, přičemž hodnoty vybraných vstupních podkladů byly v rámci zjednodušení předem stanoveny. Do každé křižovatky vstupuje 6 vozidlových proudů, hodnoty mezičasů pro dvojice kolizních proudů

na křižovatkách jsou uvedeny v tab. 1, resp. tab. 2 a fázové schéma, které bylo stanoveno s ohledem na princip koordinace, je uvedeno na obr. 2, resp. obr. 3.

Tab. 1 - Stanovené mezičasy pro vozidlové proudy na křižovatce 1

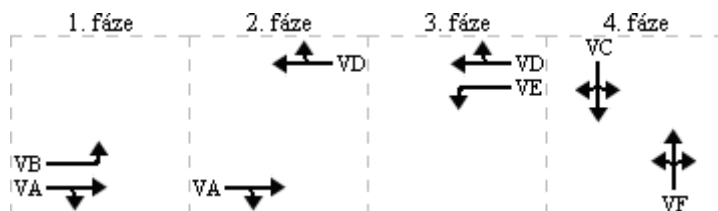
Vyklizuje	Najíždí					
	VA	VB	VC	VD	VE	VF
VA			3		2	3
VB			4	3		2
VC	3	4		3	2	
VD		3	3			3
VE	2		2			4
VF	2	3		4	3	

Zdroj: Autor

Tab. 2 - Stanovené mezičasy pro vozidlové proudy na křižovatce 2

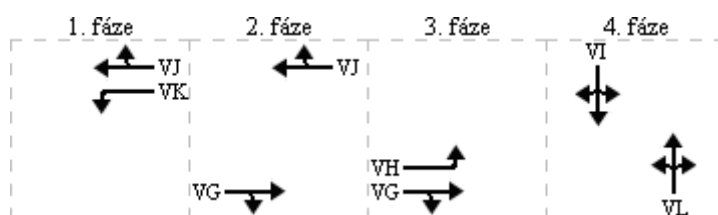
Vyklizuje	Najíždí					
	VG	VH	VI	VJ	VK	VL
VG			4		2	4
VH			5	3		3
VI	3	4		3	2	
VJ		3	4			4
VK	2		3			5
VL	2	3		4	3	

Zdroj: Autor



Zdroj: Autor

Obr. 2 - Fázové schéma pro křižovatku 1



Zdroj: Autor

Obr. 3 - Fázové schéma pro křižovatku 2

Dále jsou známy doby zelených pro vozidlové proudy, které odpovídají intenzitám účastníků silničního provozu vstupujících do křižovatek při zohlednění požadavků na minimální dobu zelené pro vozidlové proudy a minimální dobu, kterou potřebují vozidla pro vjezd do křižovatky. Požadované doby zelených pro vozidlové proudy jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 - Požadované doby zelených pro jednotlivé vozidlové proudy

Označení vozidlového proudu	Požadované doby zelené pro vozidlové proudy [s]
VA	30
VB	11
VC	14
VD	30
VE	17
VF	10
VG	30
VH	14
VI	16
VJ	30
VK	12
VL	18

Zdroj: Autor

## 4.2 Zpracování vzorového příkladu

V matematickém software Scilab byly zpracovány nejprve hodnoty vlastního čísla a vlastního vektoru matice  $A$  (13) sestavené na základě rovnic Max-plus algebry zajišťujících koordinaci křižovatek. Následně byly pro každou délku cyklu obsaženou v rámci vlastního čísla zjišťovány začátky zelených pro vozidlové proudy.

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} VA & VB & VJ & VK & VD & VE & VG & VH & VC & VF & VI & VL \end{matrix} \\ \begin{matrix} VA \\ VB \\ VJ \\ VK \\ VD \\ VE \\ VG \\ VH \\ VC \\ VF \\ VI \\ VL \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 17 & 12 & 19 & 22 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 18 & 13 & 18 & 21 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 17 & 12 & 19 & 22 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 18 & 13 & 18 & 21 \\ 0 & 14 & 0 & 14 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 32 & 0 & 32 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 14 & 0 & 14 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 32 & 0 & 32 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 33 & 19 & 34 & 19 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 33 & 21 & 34 & 17 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 33 & 19 & 34 & 19 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 33 & 21 & 34 & 17 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (13)$$

### 4.2.1 Zjišťování hodnot vlastního čísla a vlastního vektoru

Hodnota vlastního čísla umožňuje vymežit začátky zelených, které se po určité době opakují, a hodnota vlastního vektoru umožňuje definovat začátky zelených, při kterých nastane období, které se opakuje.

V software Scilab se nachází pro stanovení hodnoty vlastního čísla a vlastního vektoru příkaz  $[l, v, d] = \text{maxplusmaxalgol}(A)$ , přičemž prvek  $l$  reprezentuje vlastní číslo matice  $A$ ,

$v$  reprezentuje vlastní vektor matice  $A$  a  $d$  reprezentuje pozitivní celé číslo, které představuje délku cyklu vektorů matice  $A$ .

Nyní bude uveden zápis, kterým byly v software Scilab zjišťovány hodnoty vlastního čísla a vlastního vektoru.

```
-->A=[-%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf 17 12 19 22;
-->-%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf 18 13 18 21;
-->-%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf 17 12 19 22;
-->-%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf 18 13 18 21;
-->-%inf 14 -%inf 14 -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf;
-->32 -%inf 32 -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf;
-->-%inf 14 -%inf 14 -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf;
-->32 -%inf 32 -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf -%inf;
-->-%inf -%inf -%inf -%inf 33 19 34 19 -%inf -%inf -%inf -%inf;
-->-%inf -%inf -%inf -%inf 33 21 34 17 -%inf -%inf -%inf -%inf;
-->-%inf -%inf -%inf -%inf 33 19 34 19 -%inf -%inf -%inf -%inf;
-->-%inf -%inf -%inf -%inf 33 21 34 17 -%inf -%inf -%inf -%inf];

-->s=maxplusscg(A)
s =

F

-->[l,v,d] = maxplusmaxalgol(A)
d =

3.
v =

106.
105.
106.
105.
94.
113.
94.
113.
107.
109.
107.
109.
l =

25.
```



#### 4.2.2 Zjišťování začátků zelených

Po vymezení počtu zelených, které se po určité době opakují, byly vymezenému počtu zelených přiřazeny konkrétní hodnoty, přičemž za počáteční hodnotu opakovacího cyklu byla uvažována hodnota vlastního vektoru.

V software Scilab se nachází pro stanovení následných začátků zelených v rámci vlastního čísla příkaz  $[X] = \text{maxplussys}(A, x_0, p)$ , přičemž prvek  $A$  reprezentuje matici  $A$ ,  $x_0$  reprezentuje počáteční vektor a  $p$  reprezentuje vlastní číslo.

Nyní bude uveden zápis, kterým byly v software Scilab definovány začátky zelených v rámci vlastního čísla.

```
-->A=[-inf -inf -inf -inf -inf -inf -inf -inf 17 12 19 22;
-->-inf -inf -inf -inf -inf -inf -inf -inf 18 13 18 21;
-->-inf -inf -inf -inf -inf -inf -inf -inf 17 12 19 22;
-->-inf -inf -inf -inf -inf -inf -inf -inf 18 13 18 21;
-->-inf 14 -inf 14 -inf -inf -inf -inf -inf -inf -inf;
-->32 -inf 32 -inf -inf -inf -inf -inf -inf -inf -inf;
-->-inf 14 -inf 14 -inf -inf -inf -inf -inf -inf -inf;
-->32 -inf 32 -inf -inf -inf -inf -inf -inf -inf -inf;
-->-inf -inf -inf -inf 33 19 34 19 -inf -inf -inf -inf;
-->-inf -inf -inf -inf 33 21 34 17 -inf -inf -inf -inf;
-->-inf -inf -inf -inf 33 19 34 19 -inf -inf -inf -inf;
-->-inf -inf -inf -inf 33 21 34 17 -inf -inf -inf -inf];

-->x0=[106;105;106;105;94;113;94;113;107;109;107;109];

-->p=25;

-->[X]=maxplussys(A,x0,p)
```

Zjištěné začátky zelených pro vozidlové proudy (Tab. 4) nabízejí řešiteli pouze výchozí řešení, při kterém jsou do křižovatek umožněny současné vjezdy všem vozidlovým proudům. Proto byly zjištěné začátky zelených přiřazeny jednotlivým skupinám tak, aby odpovídaly fázovým schémátům.

Tab. 4 - Vjezdy vozidlových proudů do koordinovaných křižovatek

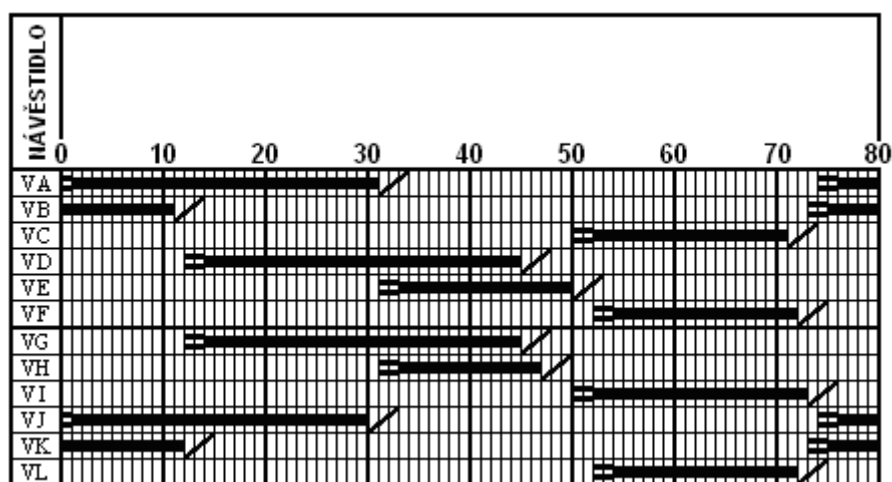
Začátky zelených pro vozidlové proudy v jednotlivých skupinách [s]															
VA	106	131	156	181	206	231	256	281	306	331	356	381	406	431	456
VB	105	130	155	180	205	230	255	280	305	330	355	380	405	430	455
VJ	106	131	156	181	206	231	256	281	306	331	356	381	406	431	456
VK	105	130	155	180	205	230	255	280	305	330	355	380	405	430	455
VD	94	119	144	169	194	219	244	269	294	319	344	369	394	419	444
VE	113	138	163	188	213	238	263	288	313	338	363	388	413	438	463
VG	94	119	144	169	194	219	244	269	294	319	344	369	394	419	444
VH	113	138	163	188	213	238	263	288	313	338	363	388	413	438	463
VC	107	132	157	182	207	232	257	282	307	332	357	382	407	432	457
VF	109	134	159	184	209	234	259	284	309	334	359	384	409	434	459
VI	107	132	157	182	207	232	257	282	307	332	357	382	407	432	457
VL	109	134	159	184	209	234	259	284	309	334	359	384	409	434	459

VA	481	506	531	556	581	606	631	656	681	706
VB	480	505	530	555	580	605	630	655	680	705
VJ	481	506	531	556	581	606	631	656	681	706
VK	480	505	530	555	580	605	630	655	680	705
VD	469	494	519	544	569	594	619	644	669	694
VE	488	513	538	563	588	613	638	663	688	713
VG	469	494	519	544	569	594	619	644	669	694
VH	488	513	538	563	588	613	638	663	688	713
VC	482	507	532	557	582	607	632	657	682	707
VF	484	509	534	559	584	609	634	659	684	709
VI	482	507	532	557	582	607	632	657	682	707
VL	484	509	534	559	584	609	634	659	684	709

Zdroj: Autor

## 5. SESTAVENÍ SIGNÁLNÍHO PLÁNU

Na základě definovaných začátků zelených lze sestavit signální plán, jímž se řídí pohyby dopravních proudů na křižovatce. Fragment signálního plánu pro koordinované křižovatky je zobrazen na obr. 4.



Zdroj: Autor

Obr. 4 - Fragment signálního plánu pro koordinované křižovatky

## ZÁVĚR

V článku bylo prezentováno zajištění koordinace křižovatek prostřednictvím Max-plus algebry, která představuje perspektivní přístup k řešení optimalizačních problémů, protože umožňuje prostřednictvím poměrně jednoduchých rovnic řešit složité optimalizační úlohy. Uvedený přístup byl aplikován v podmínkách vzorové soustavy křižovatek, na které byly s ohledem na vlastní číslo a vlastní vektor stanoveny začátky zelených, které se po určité době opakují. Ke stanovení začátku zelených pro vozidlové proudy byl použit matematický program Scilab určený pro numerické výpočty (6).

V rámci dalšího zkoumání řešené problematiky je vhodné uvažovat o modelování začátku zelených pro dopravní proudy na základě intenzit účastníků silničního provozu v různých časových úsecích, čímž bude možné docílit vytváření dynamických signálních plánů koordinovaných křižovatek.

*Článek byl zpracován s podporou grantu Fakulty strojní VŠB-TU Ostrava č. SP2011/129  
Výzkum v oblasti modelování pro podporu řízení dopravy ve městech.*

## POUŽITÁ LITERATURA

- (1) *Technické podmínky TP 81. Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení.* Brno: CDV, Ministerstvo dopravy České republiky, 2006.
- (2) ČERNÝ, J., KLUVÁNEK, P. *Základy matematickej teórie dopravy.* Bratislava: VEDA, 1991. 279 s. ISBN 80-224-0099-8.
- (3) ANDERSEN, M. H. *Max-plus algebra: properties and applications.* 2002.
- (4) BACELLI, F., COHEN, G., OLSDER, G. J., QUADRAT, J. P. *Synchronization and Linearity.* 2001.
- (5) 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 Žilině. Fakulta Riadenia a informatiky. Katedra matematických metód, 2010. s. 193 - 203. ISBN 978-80-970457-0-8.
- (6) *Scilab.* Dostupné z <<http://www.scilab.org>>.