

Akademie věd České republiky
Ústav teorie informace a automatizace

Academy of Sciences of the Czech Republic
Institute of Information Theory and Automation

VÝZKUMNÁ ZPRÁVA

ING.BC. JITKA HOMOLOVÁ,
DOC.ING. IVAN NAGY, CSc.

Nadřazená úroveň hierarchického regulátoru

2131

ČERVEN 2005

ÚTIA AVČR, P.O.Box 18, 182 08 Prague,
Czech Republic

Fax: (+420)286890378, <http://www.utia.cas.cz>, E-mail: utia@utia.cas.cz

Nadřazená úroveň hierarchického regulátoru

Interní zpráva projektu RIZDOP (A501)

Podporováno MDČR, Národním programem výzkumu 2004 - 2009,
1F43A/003/120.

Ing.Bc. Jitka Homolová, Doc. Ing. Ivan Nagy, CSc.

29. června 2005

1 Obecné cíle nadřazené vrstvy regulátoru

Koordinace řízení mezi jednotlivými oblastmi je nutná především z hlediska vyloučení jejich vzájemného negativního působení. Optimální nastavení řídicích parametrů jednotlivých mikrooblastí nemusí nutně vést ke globálnímu optimálnímu řešení. Cílem horní regulační vrstvy je optimálně upravit tok mezi oblastmi tak, aby nedocházelo k jejich zbytečnému vzájemnému zahlcování a bylo dosaženo plynulého toku těmito oblastmi.

Kromě těchto globálních cílů požadujeme, aby pokud možno bylo kritérium optimality i všechna omezení stavových a řídicích veličin lineární, a tudíž bylo možné pro optimalizaci opět využít lineární programování.

2 Předpoklady

Nadřazená vrstva bude navazovat na lokální úroveň řízení a řídicí zásahy budou prováděny s delší periodou. Z hlediska parametrů a měření dopravních charakteristik celé oblasti se předpokládá, že vše, co je známé na lokální úrovni, je dostupné i na následující vyšší úrovni, tj. jsou známy

1. dopravně-inženýrské parametry jednotlivých křižovatek (saturované toky, koeficienty odbočení);
2. délky kolon (resp. jejich bodové odhady);
3. aktuální nastavení SSZ (relativní zelené, doba offsetu);

Výše uvedené hodnoty mohou být buď známé nebo odhadnuté na lokální úrovni. Protože odhad je prováděn dostatečně přesně, nepředpokládá se nutnost dalšího odhadu na této úrovni.

3 Řídící veličina

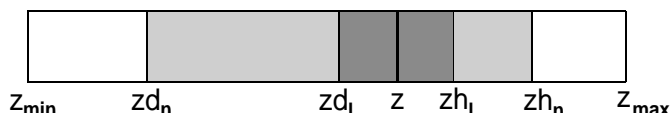
Řídící veličinou této úrovně může být:

- (i) **změna nastavení poměru zelené** na vybraných křižovatkách mikrooblasti;
- (ii) **změna doby cyklu SSZ**, která bude společná minimálně pro všechny křižovatky jedné mikrooblasti z důvodu možnosti existence zelené vlny.

Nadřazená vrstva by neměla zasahovat do řízení všech křižovatek, ale maximálně do několika vybraných, klíčových křižovatek (např. na přechodech jednotlivých mikrooblastí). Kromě jiného by řídicí zásahy této úrovně měly být realizovány pouze formou omezení řídicí veličiny pro nižší úroveň. Optimalizované hodnoty tedy nebudou použity ve svých absolutních hodnotách, ale budou sloužit pouze ke zjištění směru posunu okna pro hodnoty řízení na odpovídajících křižovatkách. Pomocí nich se tedy bude určovat, zda se má snížit horní mez či zvýšit dolní mez povoleného intervalu změny řídicích veličin pro lokální úroveň. Princip řízení celého regulátoru lze tedy shrnout následovně (viz obrázek 1):

1. hlavní omezení z_{min} a z_{max} pro přípustné hodnoty relativních zelených plyne z minimální a maximální možné doby zelené pro danou křižovatku a její signální plán;

2. v nadřazené úrovni dochází k modifikaci tohoto základního intervalu $\langle z_{min}, z_{max} \rangle$ na základě aktuálních potřeb celé oblasti na nový interval $\langle z_{d_n}, z_{h_n} \rangle$, individuálně stanovený pro každou křižovatku oblasti;
3. lokální úroveň vychází z intervalů modifikovaných nadřazenou úrovní a dále je pro všechny křižovatky v oblasti (ve všech zahrnutých mikrooblastech) optimalizuje, tj. určí nové intervaly $\langle z_{d_l}, z_{h_l} \rangle$;
4. řadič pak za výchozí nastavení aktuální zelené z uvažuje střední hodnoty modifikovaných intervalů $\langle z_{d_l}, z_{h_l} \rangle$ a případné změny tohoto nastavení mohou na úrovni řadiče probíhat pouze v mezích těchto intervalů.



Obrázek 1: Schéma povolených změn doby zelené

Změna cyklu je žádoucí především v těchto případech:

1. poměry zelených, resp. vážené poměry dob zelené jednotlivých fází jsou na dané křižovatce vyrovnané a kolony přesto na obou ramenech rostou nebo stagnují;
2. na jednom rameni je minimální zelená, na druhém maximální, a přesto kolony na druhém rameni narůstají.
3. na křižovatce je optimální nastavení dob zelených, příjezdové intenzity jsou malé a kolony jsou stále nulové;

První dva případy vedou ke zvyšování doby cyklu, kdy výstup z předchozí mikrooblasti je natolik velký, že by zahltil následnou oblast. Tato situace by vedla k vytváření nebo narůstání kolon v dané oblasti a k blokování výstupu předchozí mikrooblasti (následně vede k narůstání kolon i v této oblasti). Poslední možnost může pro některé mikrooblasti v rámci rozsáhlejší oblasti vést ke snížení doby cyklu.

4 Řízení změnou omezení relativní zelené vybraných křižovatek

4.1 Strategie 1 - Vyrovnávání množství vozidel mezi dvěma mikrooblastmi

4.1.1 Stavové veličiny

Každá mikrooblast je v nadřazené úrovni popsána pouze jednou jedinou stavovou veličinou - počtem vozidel uvnitř oblasti, včetně přechodů mezi mikrooblastmi. Jelikož předpokládáme, že nadřazený regulátor bude přímo navazovat na navrhované lokální řízení a bude tak moci využívat všech dosavadních naměřených dat a odhadů, není nutné v případě nadřazené vrstvy provádět další odhadování, a proto také není zapotřebí do stavu zahrnovat další veličiny jako v úrovni předchozí.

Jelikož naším cílem je optimalizovat průtok mezi několika mikrooblastmi, je nutné do stavu zahrnout i kolony, které se utvářejí na přechodových ramenech mezi mikrooblastmi (nezapomeňme,

že cílem nadřazené úrovně je vytěsnit nežádoucí vozidla za hranice oblasti a současně zajistit volný průjezd mezi mikrooblastmi). Stav jednotlivých mikrooblastí je pak dán váženým součtem délek kolon uvnitř oblasti, tj. všech kolon kromě těch, které se vytvářejí na kritických vstupech oblasti:

$$X_{m;t} = \sum_{k \in N_m - K_m} \xi_{m,k;t} \quad (1)$$

kde

$X_{m;t}$	je počet vozidel v dané mikrooblasti m ;
N_m	je množina všech ramen křižovatek v dané mikrooblasti m ;
K_m	kritická ramena křižovatek mikrooblasti m , která jsou současně kritickými vstupními rameny celé oblasti;
$\xi_{m,k;t}$	k -tá kolona mikrooblasti m .

4.1.2 Stavový model

Celková vstupní intenzita do mikrooblasti I_{celk} je dána součtem všech vstupních intenzit do mikrooblasti, tedy vstupních intenzit odpovídajících kritických ramen. Stejná analogie platí i pro celkový výjezd P_{celk} , kdy jednotlivé průjezdy z kritických ramen jsou stanoveny stejně jako v předchozím modelu pro lokální úroveň. Průjezd je tedy závislý na indikátoru typu průjezdu δ .

Základní stavová rovnice je pak odvozena analogicky dle předchozí úrovně:

$$X_{m;t+1} = X_{m;t} + I_{celk;t} - P_{celk;t}, \quad (2)$$

kde

$X_{m;t+1}$	je počet vozidel v dané mikrooblasti m ;
$I_{celk;t}$	celková vstupní intenzita v mikrooblasti m ;
$P_{celk;t}$	celkový výjezd v mikrooblasti m .

Výslednou stavovou rovnici v maticovém tvaru dostaneme opět analogicky jako v lokální úrovni, aplikací základní rovnice (2) a vyjádřením vjezdů a průjezdů v závislosti na relativních zelených.

4.1.3 Další omezení pro nadřazené řízení

V případě nadřazené úrovně je model pro úlohu LP opět stanoven analogicky jako pro lokální úroveň:

1. optimalizovanými veličinami jsou počty vozidel v mikrooblastech a relativní zelené na kritických křižovatkách;
2. omezující podmínky jsou tvořeny transformací stavového modelu pro nadřazenou úroveň, podmínkami nezápornosti optimalizovaných veličin, minimálními dobami všech zahrnutých relativních dob zelených a konstantními součty zelených, které se vztahují k jedné křižovatce.

4.1.4 Kritérium optimality - S1

Kritérium řízení pro nadřazenou úroveň není jednoduché stanovit. Cílem řízení by mělo být vyrovnat počty vozidel v jednotlivých mikrooblastech. Takové kritérium se poměrně snadno stanoví pro oblast, která je tvořena dvěma mikrooblastmi:

$$J_{t+1} = w_1 X_{1,t+1} - w_2 X_{2,t+1} \rightarrow 0 \quad (3)$$

kde

$X_{h,t+1}$ je množství vozidel v oblasti h v čase t ;
 w_1 a w_2 jsou váhy.

Váhy umožňují určitým způsobem preferovat některou z oblastí. V prvním přiblížení předpokládáme, že jejich hodnoty budou odrážet velikost jednotlivých mikrooblastí vzhledem k celé oblasti.

4.2 Strategie 2 - Vyrovnávání množství vozidel pro obecný počet mikrooblastí

Tato strategie je pouhým zobecněným postupem předchozí strategie, a to pro k mikrooblastí v optimalizované dopravní oblasti. Pro tento případ je tedy rovněž uvažována stejná stavová veličina i její časový vývoj, tedy také stavový model je stejný (viz podkapitola 4.1.1, 1 a 4.1.2). Stejně tak omezení použitých veličin se nemění (viz 4.1.3).

4.2.1 Kritérium optimality - S2

Zobecnění se tedy týká vyjádření kritéria optimalizační úlohy:

$$J_{t+1} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=2}^n (w_{i|j} X_{i,t+1} - w_{j|i} X_{j,t+1}) \rightarrow 0 \quad (4)$$

kde

$X_{i,t+1}$ je množství vozidel v oblasti i v čase t ;
 $w_{i|j}$ je váha pro oblast i vzhledem k oblasti j .

Další zobecněná, avšak nelineární kritéria, by mohla mít následující podobu:

$$J_{t+1} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=2}^n |w_{i|j} X_{i,t+1} - w_{j|i} X_{j,t+1}| \rightarrow \min \quad (5)$$

$$J_{t+1} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=2}^n (w_{i|j} X_{i,t+1} - w_{j|i} X_{j,t+1})^2 \rightarrow \min \quad (6)$$

4.2.2 Zhodnocení

Pro každou mikrooblast by bylo vhodné stanovit teoretické omezení v podobě maximálního počtu vozidel v oblasti (např. na základě délky jízdních pruhů):

$$0 \leq X_{i,t+1} \leq X_i^{max}, \quad \forall i = 1, 2. \quad (7)$$

Hypoteticky by mohlo také dojít ke zbytečnému zhoršení celkové situace v oblasti, tj. zhušťování provozu, díky snaze udržet vyrovnanou situaci ve všech mikrooblastech. Někdy by mohlo být výhodnějším řešením udržet např. tři ze čtyř mikrooblastí na nižším dopravním stupni a pouze jedinou mikrooblast ponechat na stupni vyšším (zvláště na okrajích města). Bylo by tedy zřejmě vhodné uvažovat časově závislé váhy v kritériu.

4.3 Strategie 3 - Vyrovňování na určité množství vozidel

Tato strategie s klade za cíl vyrovňovat množství vozidel na specifickou hodnotu, související např. s požadovaným stupněm dopravy pro danou mikrooblast:

$$X_i^{max,k-1} \leq X_{i,t+1} \leq X_i^{max,k}, \quad \forall i = 1, \dots, n, \quad k = 1, \dots, 5. \quad (8)$$

kde

$X_i^{max,k}$ je požadované množství vozidel v oblasti i pro stupeň k .

Také pro tento případ je uvažována stejná stavová veličina i její časový vývoj, tedy také stavový model je stejný (viz podkapitola 4.1.1, 1 a 4.1.2). Stejně tak omezení použitých veličin se nemění (viz 4.1.3).

4.3.1 Kritérium optimality - S3

Kritérium optimalizační úlohy můžeme tedy při platnosti podmínky (4.3.2) zapsat jako

$$J_{t+1} = \sum_{i=1}^n w_i X_{i,t+1} \rightarrow \min \quad (9)$$

kde

w_i je váha zajišťující míru preference dané mikrooblasti.

4.3.2 Zhodnocení

Vzhledem k definici kritéria bude vždy jeho hodnota kladná. Proto není potřeba optimalizovat na žádanou hodnotu, ale pouze provádět obecnou minimalizaci. Takto sestavená úloha je pak přímo vhodná, při dodržení linearity zbývajících omezujících podmínek, pro metodu lineárního programování.

Uvedená strategie pracuje s časově proměnnými mezemi pro stavové veličiny, které lépe vyjadřují naše očekávání a přibližují se více dopravní realitě. Záměry operátora se také v průběhu dne liší. Přejechy mezi jednotlivými ale mohou přinášet určité problémy (skoková změna).

Uvedená strategie navíc nerespektuje vazbu mezi sousedními mikrooblastmi. Tento problém se dá poměrně snadno vyřešit stanovením maximální odlišnosti sousedních mikrooblastí z hlediska stupně dopravy (o daný konstantní počet stupňů). Tento požadavek se projeví v omezujících podmínkách pro jednotlivé mikrooblasti.

Závěrem je nutné zdůraznit, že specifická množství vozidel náležející k příslušným stupňům dopravy je potřeba stanovit individuálně pro každou oblast; vahami lze zaručit preferenci určitých mikrooblastí.

4.4 Strategie 4 - Vyrovňování vstupů a výstupů do oblasti

Pro plně obsazenou oblast můžeme předpokládat, že pokud chce nějaké vozidlo vjet do oblasti, pak jiné vozidlo musí tuto oblast opustit. Čím více vozidel při konstantní vstupní intenzitě odjede, tím méně hustý bude provoz v oblasti. Pokud bude platit

$$I_{celk;t} - P_{celk;t} \leq 0, \quad (10)$$

pak buď ke tvorbě kolon nedochází nebo již existující kolony se zmenšují. Naším cílem tedy bude minimalizovat právě tento rozdíl.

4.4.1 Kritérium optimality - S4

Hledané kritérium tedy je:

$$J_{t+1} = \sum_k I_{k,t+1} - \sum_l P_{l,t+1}, \quad \rightarrow \quad \min \quad (11)$$

kde uvedené součty se provádějí přes ta ramena křižovatek v oblasti, která se nacházejí na hranici oblasti (nejsou tedy spojnicí křižovatek v dané oblasti).

Jak je z výše uvedeného zřejmé, kritérium vlastně zároveň vyjadřuje požadavek na minimalizaci rozdílu vjezdu a výjezdu na všech křižovatkách v oblasti.

4.4.2 Zhodnocení

Výhodou uvedeného kritéria je jeho lineárnost. Vzhledem ke specifikaci tohoto kritéria je však velmi důležité napojení na lokální řízení a důsledné omezování vnitřních kolon.

Vzhledem k hydrodynamické analogii je potřeba uvědomit si, že uvedený rozdíl sice může nabývat záporných hodnot, avšak omezeně. Musí platit:

$$\begin{aligned} \sum_k I_{k,t+1} - \sum_l P_{l,t+1} &= \sum_k \xi_{k,t+1} - \sum_k \xi_{k,t} \quad \Rightarrow \\ \sum_k I_{k,t+1} - \sum_l P_{l,t+1} &\geq - \sum_k \xi_{k,t}. \end{aligned} \quad (12)$$

4.5 Strategie 5 - Analogie křižovatky

Princip následující strategie je následující: jednotlivé mikrooblasti jsou transformovány na křižovatky a celý problém nadřazeného řízení je převeden na řízení jediné transformované mikrooblasti. Každá mikrooblast je charakterizována opět kolonami, tentokrát však vztaženými ke směru pohybu mikrooblastí. Kolona pro daný směr je dána váženým součtem kolon na cestě, směřující k odpovídajícímu přechodu. Vahami jsou v tomto případě směrové koeficienty. Pro danou kolonu je pak uvažována analogie stavové rovnice pro výpočet nové kolony.

4.5.1 Kritérium optimality-S5

Hledané kritérium tedy je:

$$J_{t+1} = \sum_h w_h \Xi_{h,t+1} = \sum_h \sum_{c^*} w_h \alpha_{h_c} \xi_{h_c,t+1}, \quad \rightarrow \quad \min \quad (13)$$

kde

- w_h je váha zajišťující míru preference daného přechodu;
- $\Xi_{h,t+1}$ je kolona pro transformované rameno h ;
- c^* označuje množinu skutečných ramen, která se podílejí na transformované koloně, tj. popisuje "cestu" k danému přechodu.

4.5.2 Zhodnocení

Tento přístup s sebou nese mnoho problematických podúloh:

1. stanovení zástupných hodnot saturovaných toků;
2. cykly v grafu;
3. existence více cest do stejného cíle;
4. složitý výpočet nových délek kolon.

Protože však předpokládáme úplnou znalost odhadů délek kolon ze spodní úrovně řízení, zdá se být uvedený způsob nadbytečně složitý a svým způsobem pouze rozšiřuje strategii č. 4.

5 Řízení změnou doby cyklu v mikrooblasti

Vzhledem k potřebě vytvářet zelené vlny v mikrooblasti, změna doby cyklu musí probíhat celoplošně, tedy najednou pro všechny křižovatky v dané mikrooblasti.

5.1 Dopad změny doby cyklu na relativní zelené

Připomeňme některé definiční vztahy:

- kapacita vjezdu je určena vztahem

$$K_{i,k} = \frac{S_{i,k}(z_f^s + 1)}{T_C}, \quad (14)$$

kde

- $K_{i,k}$ kapacita vjezdu k ramene i [jvoz/hod] příslušející fázi f ,
- $S_{i,k}$ saturovaný tok vjezdu [jvoz/hod];
- z_f^s doba zeleného signálu [s];
- T_C doby cyklu [s].

Pro všechny vjezdy musí platit $K_{i,k} > I_{i,k}$;

- pro daný cyklus a všechny jeho fáze musí nutně platit:

$$T_C = \sum_f t_{m,f} + \sum_f z_f; \quad (15)$$

- relativní zelená je dána vztahem $z_f = \frac{z_f^s + 1}{T_C}$,
- celkový ztrátový čas označíme $T_m = \sum_f t_{m,f}$.

Změnou doby cyklu dojde k těmto změnám signálního plánu jedné křižovatky, které lze na základě znalosti předchozí doby cyklu a jejího nového přírůstku vyčíslit následovně:

1. celkový součet dob zelených signálů

$$\sum_f (z_f + \Delta_{z_f}) = T_C + \Delta_{T_C} - T_m; \quad (16)$$

2. celkový přírůstek relativních zelených

$$\sum_f \Delta_{z_f} = \frac{T_m}{T_C} \cdot \frac{\Delta_{T_C}}{T_C + \Delta_{T_C}}. \quad (17)$$

5.2 Realizace změny doby cyklu

Změna doby cyklu by jednoznačně měla být prováděna s delší periodou než je perioda optimalizace relativní zelené na lokální úrovni. Je však poměrně komplikované vyjádřit budoucí efekt dané změny doby cyklu, navíc tato změna naruší koordinaci v oblasti z hlediska vytváření zelených vln.

Vzhledem k poměrně hluboké expertní znalosti pro dopravní oblast (především každodenní dlouhodobé zkušenosti) bychom v této fázi preferovali změny doby cyklu o konstantní přírůstek dle předem stanoveného schématu. Bylo by možné například stanovit pět pracovních režimů: ráno, dopolední špička, sedlo, odpolední špička a večer. Pro každý režim by byla stanovena odpovídající doba cyklu, a tedy také i hledaný přírůstek vzhledem k předchozí době cyklu.

Změny doby cyklu by se pak v naší optimalizační úloze projevila pouze změnou omezujících podmínek pro relativní zelené na každé světelně řízené křižovatce:

$$\begin{aligned} \frac{z_{min}^s}{T_C + \Delta_{T_C}} &\leq z_f \leq 1 - \frac{T_m + z_{min}^s(n_f - 1)}{T_C + \Delta_{T_C}}, \quad \forall f; \\ \sum_{f=1}^{n_f} z_f &= 1 - \frac{T_m}{T_C + \Delta_{T_C}}, \end{aligned} \quad (18)$$

kde

- f označuje fázi signálního plánu;
- n_f je celkový počet fází signálního plánu pro danou křižovatku.

6 Lineární programování

Naší představou je zachovat stejnou optimalizační metodu pro obě regulační vrstvy, tedy pro lokální i nadřazenou - bude-li to možné a vhodné. V opačném případě se přistoupí k nelineárním metodám optimalizace.

Připomeňme si, že lineární programování řeší v konečném počtu kroků následující úlohu:

$$J = q' \chi \rightarrow \min \quad (19)$$

$$P_1 \chi > r_1 \quad (20)$$

$$P_2 \chi = r_2 \quad (21)$$

$$h_1 < \chi < h_2 \quad (22)$$

kde

- (19) je minimalizované lineární kritérium, tvořené skalárním součinem vektoru vah q a vektorem optimalizovaných veličin χ ;
- (20) soustava omezení pro optimalizované veličiny χ ve tvaru nerovností;
- (21) soustava omezení pro optimalizované veličiny χ ve tvaru rovností;
- (22) omezení ve tvaru intervalů (h_1, h_2) přímo pro složky optimalizovaných veličin (nejčastěji používané jako podmínky nezápornosti).

Optimalizace probíhá na simplexu, daném omezujícími podmínkami, a vzhledem k lineari-
tě kritéria se hledá na hranici tohoto simplexu. Za standardních podmínek je minima dosaženo
v konečném počtu kroků. Tím je také dána rychlost a spolehlivost této metody.

Vzhledem k této skutečnosti je nutné zvolená kritéria (až na kritérium číslo 4, viz (11)). Uvedeme
nyní dva možné postupy, a to pro jednoduchost na příkladě dopravní oblasti, skládající se pouze
ze dvou mikrooblastí. Rozbor tedy bude proveden pro strategii č. 1 (viz kapitola 4.1).

6.1 Inkrementální metoda

V tomto případě je povolena změna relativních zelených pouze o pevně stanovený inkrement. Řešená
optimalizační úloha pracuje s následujícím kritériem

$$J_{t+1} = w_1 X_{1,t+1} - w_2 X_{2,t+1} \rightarrow \min. \quad (23)$$

Optimální řešení této úlohy bude použito pouze pro určení směru změny aktuálního nastavení
jednotlivých relativních zelených, tj. zda budou o pevný inkrement zvýšeny nebo sníženy. Pokud
bude konečná hodnota kritéria záporná, v dalším kroku se bude optimalizovat opačný rozdíl, aby
bylo zabráněno nežádoucímu přepřehování jedné oblasti, tedy

$$J_{t+1} = w_1 X_{1,t+1} - w_2 X_{2,t+1} < 0 \Rightarrow J_{t+2} = w_2 X_{2,t+2} - w_1 X_{1,t+2} \rightarrow \min. \quad (24)$$

Evidentně zde existuje hrozba "překmitávání" znaménka kritéria, resp. rozdílu stavových veličin.
V takovém případě lze reagovat tak, že se po zjištění tohoto jevu nebude provádět optimalizační
zásah. Je však velmi nutné provést detailní návrh obecného postupu a testováním ověřit, zda je
takový přístup při optimalizaci dopravy v oblasti možný.

6.2 Restrikční metoda

Výše citovanou úlohu vyrovňování množství vozidel ve dvou oblastech můžeme převést na mini-
malizaci váženého množství vozidel v jedné oblasti, a to s dodatečným omezením na jeho hodnotu.
Kritérium pak je ve tvaru

$$J_{t+1} = w_1 X_{1,t+1} \rightarrow \min \quad (25)$$

s jeho dodatečným omezením

$$w_1 X_{1,t+1} \geq w_2 X_{2,t+1}. \quad (26)$$

V tomto případě existuje hrozba nemožnosti dodržení uvedené omezující podmínky (např. v oblasti X_1 je málo vozidel a téměř žádná vozidla z X_2 do ní už nesměřují). V takové situaci se optimalizační zásah vynechá a zachová se aktuální nastavení signálních plánů (v rámci nadřazené regulace). Stejně jako u předchozí metody je potřeba provést důkladnější rozbor a testování navržené metody.

7 Závěr

Cílem této práce je teoretický návrh kritériálních funkcí optimalizační úlohy nadřazené úrovně hierarchického regulátoru dopravy. Vzhledem k návaznosti na návrh lokální úrovně regulátoru je možné využít odhady délek kolon na ramenech křižovatek v dané dopravní oblasti. Další snahou je zachování analogie také v použití optimalizační metody - lineárního programování. Nutnou podmínkou je proto opět nalézt jak kritérium, tak i omezující podmínky všech veličin v lineární podobě.

Na nadřazené úrovni je možné řídit nejen pomocí relativních zelených, zpravidla pouze na vybraných křižovatkách, tak také změnou doby cyklu. Celkem bylo navrženo pět strategií pro řízení změnou omezení pro relativní zelené. Změna doby cyklu se v optimalizační úloze projeví změnou omezení řídicích veličin, tj. jednotlivých relativních zelených.

Dále jsou zde naznačeny dvě metody, které uvedené strategie převádějí na klasické úlohy lineárního programování. Na toto teoretické rozpracování řídicích strategií bude navazovat důkladné otestování a prověřování jednotlivých strategií i metod. Pokud by se lineární programování ukázalo být nevhodnou metodou pro výše popisovanou optimalizační úlohu, lze uvedená kritéria využít také pro jiné, nelineární metody.