

EFEKTÍVNE A BEZPEČNÉ RIADENIE DOPRAVY V TUNELI

EFFECTIVE AND SAFE TRAFFIC CONTROL IN A TUNNEL

DOC. ING. JURAJ SPALEK, Ph.D., DOC. ING. ALEŠ JANOTA, Ph.D.

KATEDRA RIADIACICH A INFORMAČNÝCH SYSTÉMOV, ELEKTROTECHNICKÁ FAKULTA, ŽILINSKÁ UNIVERZITA

Resumé: Efektívne a bezpečné riadenie dopravy v tuneli vyžaduje koordináciu relevantných nástrojov: náviesenie, vetranie a osvetlenie v tuneli. Primárnymi vstupmi riadenia sú meteorologické podmienky (vlhkosť, smer a rýchlosť prúdenia vzduchu, teplota, atmosférický tlak, opacita), charakteristiky dopravného prúdu (smer, rýchlosť, hustota, kategorizácia) a ich gradient. Optimálne riadenie dopravy možno dosiahnuť multikriteriálnym rozhodovaním a predikciou vlastností operačného prostredia. Vhodným nástrojom pre dosiahnutie cieľových vlastností takého systému je fuzzy logika. V článku je opísaný model riadenia dopravy na báze fuzzy logiky, ktorý by mohol byť potenciálne aplikovateľný v podmienkach mnohých diaľničných tunelov.

ÚVOD

Technologické vybavenie diaľničného tunela je regulovanou sústavou tvorenou snímačmi jednotlivých funkčných celkov a akceptormi - výstupnými členmi sprostredkujúcimi styk s vodičmi. Základnými funkčnými celkami tunela sú dopravný subsystém, bezpečnostné vybavenie a technické zariadenia zabezpečujúce funkčnosť tunela. Správanie sústavy určuje centrálny riadiaci systém podľa vopred vytvorených modelov. Pri návrhu funkčných celkov sa používajú exaktné postupy (výpočet, simulácia, modelovanie) alebo expertné postupy (využitie štatistických metód analýzy historických udalostí, expertné odhady, implementácia fuzzy pravidiel do procesu rozhodovania). Výhody tejto skupiny metód sa prejavujú hlavne pri riešení mimoriadnych situácií (požiar, nehoda). Článok naznačuje niektoré možnosti fuzzy logiky, ktorá by v budúcnosti mohla byť použiteľná pri riadení vybraných technologických celkov rôznych diaľničných tunelov.

RIADENIE DOPRAVY

Ciele riadenia dopravy:

- zachovať plynulosť dopravného prúdu pri dopravných špičkách;
- rozptýliť dopravu v prípade kongescie;
- upozorniť vodičov na zhoršenie poveternostných podmienok (hmla, námraza).

Pred portálmi diaľničných tunelov bývajú pozdĺž úseku diaľnice umiestnené dopravné signalizačné zariadenia (premenňné dopravné značky, trojvetelné návěstidlá, informačné tabule) indikujúce rýchlostné obmedzenia pre každý jazdný pruh a tiež výskyt neregulárnych situácií (rôzne dopravné obmedzenia v tuneli, vjazd nadrozmerného vozidla, kongescia dopravy, nebezpečné poveternostné podmienky). Jazdné pruhy v tuneli sú návěstnými rezmí rozdelené na návestné úseky (sekcie). Stratégia riadenia dopravy určuje rýchlostné limity jednotlivých sekcií zodpovedajúce aktuálnym dopravným a environmentálnym podmienkam. Riadenie dopravy sa uskutočňuje na základe analýzy dopravných dát a environmentálnych podmienok.

Environmentálne snímače:

Meteorologické stanice používajú cestné snímače pre meranie teploty povrchu vozovky, vlhkosti povrchu vozovky, hrúbky vodného filmu na vozovke a obsah soli vo vodnom filme. Ďalej detegujú teplotu vzduchu v blízkosti vozovky, množstvo a druh atmosférických zrážok, intenzitu slnečného žiarenia a osvetlenia. K štandardnej zostave mnohých cestných tunelov patria:

- snímače pre meranie opacity ovzdušia;
- snímače pre meranie koncentrácie CO a NO_x;
- meteorologická stanica (snímač atmosférickej vlhkosti a tlaku vzduchu, smeru a rýchlosti prúdenia vzduchu), a iné.

Spôľahlivosť a presnosť väčšiny používaných snímačov závisí od fyzikálnych vlastností prostredia. Napríklad štandardný salinometer vyžaduje pre meranie zostatkového obsahu soli na vozovke mokry povrch. Okrem toho je chyba snímača často spôsobená "biologickými útokmi" hmyzu, ktorý znečistí povrch vizuálnych detektorov. U konvenčných riadiacich systémov tak dochádza k chybným interpretáciám (detekcia silného dažďa alebo malej dohľadnosti). Dôsledkom môže byť generovanie nesprávnej dopravnej výstrahy [1]. V prípadoch, kedy snímače pochádzajú od rôznych výrobcov, či predajcov, nie sú konvenčné riadiace systémy často schopné vyhodnotiť interakciu signálov od rôznych technologických uzlov s dostatočnou vierohodnosťou.

Dopravné snímače:

- indukčné slučky (používajú sa najmä u starších systémov);
- neinvázne videodetektory (systémy AutoScope, mikrovlnné detektory a pod.);
- dvojité optické závery pre meranie výšky vozidiel.

POUŽITIE FUZZY LOGIKY NA RIADENIE DOPRAVY

Kapacita cestných tunelov býva obmedzená stavebnými podmienkami i sklonovými pomermi. Ako príklad možno uviesť údaje charakterizujúce priepustnosť 4975 m dlhého slovenského tunela Branisko v jednom smere pri 40% podiele nákladných vozidiel a štvorsekundových priemerných odstupoch. Plynulý dopravný tok bol charakterizovaný kapacitou 8978 osobných a 2992 nákladných vozidiel denne, odhady pre dopravnú špičku hovoria o 898 osobných a 300 nákladných vozidlách za hodinu.

Summary: Effective and safe traffic control in a tunnel requires co-ordination of relevant means: signalling, ventilation and illumination inside the tunnel. As primary entries there are used meteorological conditions (moisture, direction and velocity of air flow, temperature, atmospheric pressure, opacity), traffic flow parameters (direction, speed, density, categorisation) and their gradient. Optimal traffic control can be reached through multicriteria decision-making and prediction of operation environment characteristics. To reach the target behaviour of such a system, fuzzy logic can be used as a proper tool. In the paper, a description of a model of traffic control based on fuzzy logic is given that could potentially be applied to conditions of many motorway tunnels.

INTRODUCTION

Technological equipment of a motorway tunnel represents a regulated system consisting of sensors of particular functional units and acceptors - output elements communicating with conductors. Basic functional units of the tunnel are formed by the traffic sub-system, safety equipment and technical equipment ensuring tunnel functionality. System behaviour is determined by the central control system in accordance with models designed beforehand. Exact procedures (computation, simulation, modelling) or expert-based procedures (utilisation of statistical methods of historical event analysis, expert estimations, implementation of fuzzy rules into decision process) are used in design of functional units. Advantages of this group of methods are mainly manifested in solving emergency situations (fire, accident). The paper proposes some of possible capabilities of fuzzy logic that could be used in the future to control selected technological units of different tunnels.

TRAFFIC CONTROL

The objectives of traffic control:

- keep traffic flowing in case of peak traffic;
- slow down traffic at the inflow to congestion;
- warn drivers of deterioration in weather conditions (fog, icing).

In front of portals of the motorway tunnels there is traffic signalling equipment (variable traffic-signs, three-aspect signals, information panels) situated, indicating speed restrictions for each lane as well as occurrence of irregular situations (different traffic restrictions inside the tunnel, a high vehicle arrival, traffic congestion, dangerous weather conditions). The lanes inside the tunnel are sectioned to signalling sections. Traffic control strategy determines speed limit for every individual section corresponding to actual traffic and environmental conditions. Traffic control is realised on the base of a traffic data and environmental condition analysis.

Environmental sensors:

The weather stations use road sensors measuring road surface temperature, road surface moisture, water film depth and salt content of the water film. Near the sense temperature of the air close the road surface, amount and kind of atmospheric precipitations, intensity of the solar radiation and illumination. A standard set used in many road tunnels consists of:

- sensors measuring air opacity;
- sensors measuring CO and NO_x concentration;
- a weather station (sensors measuring air moisture and air pressure, wind velocity and direction) and others.

Dependability and accuracy of most of the used sensors depend on physical attributes of the environment. For example, a standard salinometer needs a wet road surface to measure remaining salt content on the road. Besides measurement problems, sensors frequently fail because of "biological attacks" that cover the surface of visual detectors. Conventional traffic control systems can misinterpret this (as a high rain intensity or low visual range). This can result in generation of a completely wrong traffic warning [1]. In cases when sensors come from different manufacturers or vendors, conventional control systems often cannot evaluate interaction of signals from different technological nodes with a sufficient level of plausibility.

Traffic sensors:

- induction loops (mainly used in older systems);
- non-invasive video-detectors (Auto-Scope systems, micro-wave detectors etc.);
- double optical barriers measuring vehicle height.

USING FUZZY LOGIC FOR TRAFFIC CONTROL

Traffic capacity of road tunnels is usually restricted by both the construction and gradient-ratio conditions. As an example we can give data related to the 4975 m long Slovak motorway tunnel Branisko that characterise its traffic capacity for one direction with 40% share of trucks and 4 sec. intervals on the average. The fluent traffic flow was cha-

Priemerná rýchlosť [km/hod.] Average speed [km/hour]	30	60	80
Priepustnosť tunela [vozidel/hod.] Tunnel capacity [vehicles/hour]	726	800	825

Včasná rozpoznávanie blížiacich sa kolón vozidiel a jej rýchlosti je nevyhnutné pre adaptívne riadenie technológií: vetranie, osvetlenie, dopravné značenie a signalizáciu v tuneli. Naopak, schopnosť systému detegovať ojedinelé vozidlo zvyšuje hospodárnosť prevádzky tunela. Cieľom fuzzy riadenia je obmedziť potrebu korekčných zásahov dopravného dispečera do procesu riadenia a v mimoriadnych situáciách mu poskytnúť variantné riešenia.

Výhody riešenia na báze fuzzy logiky:

- vyhodnotenie informácií od rôznych typov zariadení pracujúcich s rôznou presnosťou;
- dvojnásobnou kontrolou sa zvyšuje vierohodnosť signálov od snímačov;
- pomocou snímačov susedných detekčných stanovišť umožňuje vypočítať substitučné hodnoty chýbajúcich informácií;
- dostatočne presná kategorizácia dopravného prúdu a predikcia jeho parametrov;
- optimalizácia riadenia v kritických situáciách na báze expertných znalostí.

POUŽITIE FUZZY LOGIKY PRE ANALÝZU ENVIRONMENTÁLNYCH PODMIENOK

Pri návrhu metódy pre analýzu stavu povrchu vozovky, opacity, poveternostných podmienok možno využiť skúsenosti z riadenia dopravy na úseku diaľnice B27 Stuttgart City - Stuttgart Airport.

Analýza vierohodnosti snímačov

Vierohodnosť výstupných signálov snímačov sa overuje v dvoch krokoch. Najprv sa vyhodnocuje gradient meraných veličín. Neprimerané zmeny ich hodnôt alebo dlhodobá invariabilita svedčia o poruche snímača [2]. V takom prípade môže fuzzy logický systém regenerovať chybný signál pomocou informácií od iných snímačov. K návrhu takého logického systému sú potrebné expertné meteorologické poznatky o maximálnom gradiente signálov všetkých snímačov, časovom rámci zmien hodnôt a maximálnej možnej zmene gradientu vedúcej k identifikácii nespojitosti meranej veličiny. V druhom kroku sa používajú 4 separátne fuzzy moduly pre vyhodnotenie vzájomne súvisiacich informácií:

A. Modul **"Vlhkosť povrchu vozovky"** - porovnáva údaje indikujúce akékoľvek zmeny vlhkosti vozovky. Modul pozostáva z 5 blokov pravidiel:

- blok pravidiel pre kompenzáciu parametrov hygroskopických snímačov;
- blok pravidiel krížovej kontroly merania vlhkosti povrchu vozovky počas posledných 30 minút;
- blok pravidiel krížovej kontroly snímačov vlhkosti (rosný bod, teplota a vlhkosť vozovky);
- blok pravidiel na diagnostikovanie chybných správ z danej signálnej situácie.

B. Modul **"Teplota povrchu vozovky"** - je určený na výpočet overenej hodnoty teploty povrchu vozovky pomocou krížovej kontroly teplotného signálu, jeho gradientu a množstva atmosférických zrážok.

C. Modul **"Atmosférické zrážky"** - je najkomplexnejším overovacím modulom. Verifikuje existujúce snímače, ktoré indikujú typ atmosférických zrážok pomocou krížovej kontroly overovaného signálu vlhkosti vozovky, pásma viditeľnosti a iných environmentálnych podmienok. Ak snímač odovzdá nevhodné výsledky alebo výsledky nie sú k dispozícii, vypočíta sa náhradná hodnota.

D. Modul **"Opacita"** - vypočíta overenú hodnotu pásma viditeľnosti pomocou dvoch blokov pravidiel, ktoré:

- krížovo kontrolujú pásmo viditeľnosti a kvantitu atmosférických zrážok (napr. počas silného dažďa sa nevyskytuje hmľa);
- krížovo kontrolujú pásmo viditeľnosti a vlhkosť vzduchu (napr. hmľa sa môže vyskytnúť len v čase vysokej vlhkosti).

Konvenčné dopravné riadiace systémy sú náchylné generovať nesprávne povely na základe chybného vyhodnotenia výstupov environmentálnych snímačov. Prezentovaný prístup pomocou fuzzy logiky umožňuje dospieť k spoľahlivejším výsledkom využitím meteorologických expertíz.

RIADENIE VETRANIA TUNELA

Vetracie zariadenia tunelov bývajú navrhnuté tak, aby udržali hladinu koncentrácie v ustálenom stave pod predpísanou hodnotou za očakávaných dopravných podmienok. Hladinu znečistenia možno dosiahnuť privedením dostatočného množstva čerstvého vzduchu. Klasický radič je schopný vyhodnocovať iba aktuálne hodnoty koncentrácie znečistenia v tuneli a zapínať ventilátory alebo meniť uhol lopatiek ventilátorov "on-line". Tento druh riadenia má mnohé nevýhody - nepriamo väzbu na objem dopravy prostredníctvom merania znečistenia, negatívny vplyv veľkých rušení a obťažuje udrža-

ričané kapacitou 8978 áut a 2992 ťažkých nákladných áut za deň, počas rúch hodín tam boli odhadované 898 áut a 300 ťažkých nákladných áut za hodinu.

Early detection of approaching column of vehicles and its speed is necessary for adaptive control of technologies: ventilation, illumination and traffic signalling inside the tunnel. On the contrary, ability of the system to detect an isolated vehicle increases efficiency of tunnel operation. The fuzzy logic aims to restrict the need of correction actions towards the control process from a traffic dispatcher and to provide alternative solutions in emergency situations.

Advantages of solution based on the fuzzy logic:

- processing of information from different types of equipment working with different accuracy;
- two-stage check increasing plausibility of signals from sensors;
- ability to compute substitution values of missing information with the help of sensors of adjacent detection points;
- sufficiently accurate categorisation of traffic flow and its parameters prediction;
- control optimising in critical situations on the base of expert knowledge.

USING FUZZY LOGIC FOR ENVIRONMENTAL DATA ANALYSIS

To design a method for analysis of the road surface, opacity, atmospheric conditions, we can use knowledge from the traffic control system used at the B27 motorway Stuttgart City - Stuttgart Airport in Germany.

Sensors Plausibility Analysis:

A two-step approach is used to verify plausibility of output sensor signals. First the gradient of measured values is evaluated. Inadequate changes of values or their long-term invariability indicate a faulty sensor [2]. In such a case the fuzzy logic system can regenerate the faulty signal using information from other sensors. To design such a fuzzy logic system, meteorological knowledge about the maximum gradients of all sensors signals, a time frame for required movement of signals and maximum jumps of the gradients to identify discontinuity are acquired from experts. The second step uses four separate fuzzy logic modules to combine interrelated signals:

A. **"Road Moisture"** Module - combines all data indicating any change of moisture or water on the road. The module consists of five blocks of rules that implement:

- a compensation rule block for hydroscopic behaviour of the road moisture sensors;
- a cross check rule block for measurement of road surface moisture during the last 30 minutes;
- a cross check rule block for humidity sensors (dew point, road temperature and road moisture);
- a diagnosis rule block used to derive an error message from the given signal situation.

B. **"Road Temperature"** Module - computes a verified value of the road surface temperature by cross check of the temperature signal, the gradient of this signal and the precipitation.

C. **"Precipitation Type"** Module - is the most complex verification module. This fuzzy logic module verifies existing sensors that indicate the precipitation type by a cross check with the verified signals of the road moisture, precipitation quantity, visual range and other environmental conditions. If the sensor delivers implausible results or is not available, a substitute value is computed.

D. **"Visual Range"** Module - computes a verified value of the visual range by using two rule blocks that:

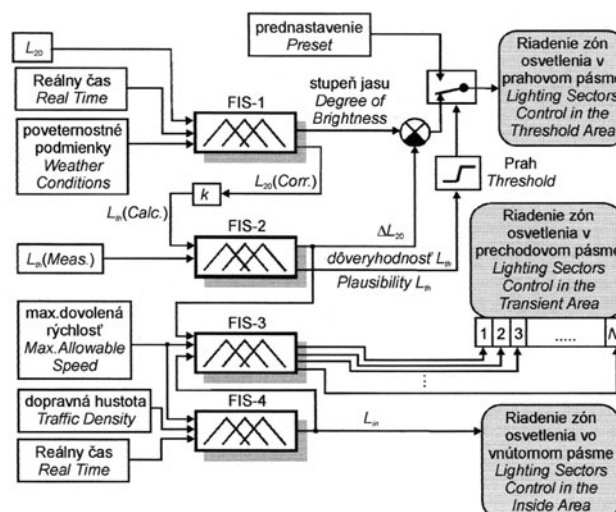
- cross check the visual range with the precipitation quantity (e.g. there is no fog during heavy rain);
- cross check the visual range with air humidity (e.g. fog only occurs during very high humidity).

Conventional traffic control systems are susceptible to generate incorrect commands on the base of faulty evaluation of weather sensor signals. The presented fuzzy logic approach delivers more reliable results using meteorological expertise.

CONTROL OF TUNNEL VENTILATION

The ventilation facilities of the tunnel are designed to keep the concentration level of pollution below the prescribed value in a steady state under expected traffic conditions. The pollution level can be reached by bringing sufficient amount of fresh air.

The classical controller is able to evaluate only actual values of pollution concentration in the tunnel and switch the ventilators or change the blade angle of ventilators "on



Obr. 1 Architektúra riadenia osvetlenia v tuneli
Fig. 1 Architecture of illumination control in the tunnel

nia stability radiča, vyššiu energetickú spotrebu (väčšie množstvo vzduchu ako je nevyhnutné). Riadenie založené na fuzzy logike a predikcii dopravných údajov dovoľuje realizovať prevádzku s hodnotami blízkymi marginálnym úrovňam koncentrácií exhalátov. Možno tak znížiť celkovú spotrebu elektrickej energie.

RIADENIE OSVETLENIA V TUNELI

Cieľom osvetlenia tunelov je zaistiť v priebehu dňa i noci bezpečnosť, plynulosť cestnej premávky a zrakovú pohodu jej účastníkov pri rešpektovaní danej návrhovej rýchlosti. S ohľadom na zrakovú adaptáciu vodiča je osvetlenie tunela kritické v denných hodinách, kedy vodič vchádza z prostredia s vysokou úrovňou jasnosti do prostredia, kde je jeho úroveň nízka. Preto sa v pozdĺžnom smere tunelov rozlišuje 5 pásiem osvetlenia.

- **Približovacie pásmo** je tvorené úsekom komunikácie bezprostredne pred vjazdom do tunela. Hodnota jasnosti približovacieho pásma L_{20} sa meria v 20 stupňovom zornom poli z pohľadu vodiča vo vzdialenosti rovnej celkovej brzdnéj dráhe vozidla pred vjazdom. Závisí od geografickej orientácie, jasnosti okolia, okamžitých atmosférických podmienok, dennej doby, a ročného obdobia;

- Vjazdové pásmo je tvorené **prahovým a prechodovým pásmom**. Práhové pásmo je prvým pásmom v telese tunela, jeho dĺžka je rovná celkovej zábrzdnej dráhe. Hodnota jasnosti prahového pásma je $L_{th} = k \cdot L_{20}$ (napr. v podmienkach tunela Branisko sa rátať o s hodnotou $k = 0.05$). V prechodovom pásmo sa úroveň jasnosti na konci prahového pásma plynulo znižuje na úroveň jasnosti vnútorného pásma. Optimálna dĺžka prechodového pásma umožňuje adaptáciu zraku do doby t po vjazde do prechodového pásma. Hodnota jasnosti sa určuje z empirického vzťahu $L_{tr} = L_{th} (1.9 + t)^{-1.4}$ [3];

- Vo **vnútornom pásmo** tunela sa úroveň jasnosti L_{in} všeobecne udržiava na konštantnej hodnote danej celkovou zábrzdnu dráhou a okamžitou intenzitou dopravného prúdu;

- **Výjazdové pásmo** tunela je úsek, v ktorom je videnie vodiča ovplyvnené jasnosťou prístoru za tunelom. Hodnota jasnosti L_{ex} vo výjazdovom pásmo nie je kritická, lebo obrysy predmetov nachádzajúcich sa vo výjazde sú dobre viditeľné oproti jasnemu otvoru výjazdu.

Pre výpočet osvetlenia tunela je dostupná metodika podľa smernice CIE 88/1990 "Guide for the Road Tunnels and Underpassing". Umožňuje statické riadenie na základe návrhovej rýchlosti tunela a okamžitej hodnoty jasnosti L_{20} .

Osvetlenie v tuneli

Použitie fuzzy logiky na riadenie osvetlenia v tuneli by umožnilo adaptívne riadiť osvetlenie v reálnom čase, zohľadňovať aj okamžitú rýchlosť a intenzitu dopravného prúdu a korigovať nepresne alebo chybné merané fyzikálne veličiny a poveternostné vplyvy. Tým by sa významne prispelo k zvýšeniu úrovne bezpečnosti dopravy a v konečnom dôsledku aj k zníženiu prevádzkových nákladov tunelov.

Primárnymi vstupmi riadiaceho systému bývajú hodnoty jasnosti od jasnomerov, tvorených štyrmi špeciálnymi CCD kamerami. Hodnota jasnosti L_{20} sa meria vo vzdialenosti 80 m pred portálmi, hodnota L_{th} akomodáčnej zóny v telese tunela vo vzdialenosti 100 m od vjazdu. Sekundárnymi vstupmi sú aktuálne parametre dopravného prúdu, poveternostný stav, návestný režim v tuneli a reálny čas.

Pre riadenie sekcií svetidiel v prahovom pásmo sa fuzzy-inferenčným systémom FIS-1 vyhodnocuje hodnota L_{20} v 6 stupňoch: slnečno, polooblačno, oblačno, súmrak, svetlá noc a tmavá noc. Vypočítaná hodnota L_{th} (Calc.) sa vo fuzzy-inferenčnom systéme FIS-2 koriguje meranou hodnotou L_{th} (Meas.) a súčasne sa vyhodnocuje ich dynamika [3]. Rozdiel $\Delta L_{th} = L_{th}$ (Calc.) - L_{th} (Meas.) predstavuje regulačnú odchýlku sústavy. Miera vierohodnosti $MV(L_{th})$ veličiny L_{th} nadobúda hodnoty z intervalu (0, 1). Jej porovnanie so zadanou prahovou hodnotou umožňuje riešiť poruchové stavy prechodom na statické riadenie osvetlenia prahového pásma tunela. V tuneli sa predpokladá N_p sekcií svetidiel v prechodovom pásmo. Ich riadenie je nelineárne a je determinované okamžitou hodnotou jasnosti L_{in} . Preto sú výstupy príslušného fuzzy-inferenčného systému FIS-3 generované pre každú sekciu zvlášť. Tak možno dosiahnuť plynulú zmenu jasnosti na konci prahového pásma a začiatku vnútorného pásma.

Definujú sa odporúčané hodnoty jasnosti na povrchu vozovky vo vnútornom pásmo tunela (napr. vo dne $3 \div 4 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, v noci $1 \div 2.5 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$). Fuzzy-inferenčný systém FIS-4 optimalizuje riadenie sekcií svetidiel podľa aktuálnych dopravných dát.

Pre návrh riadenia jasnosti výjazdového pásma tunelov treba rešpektovať skutočnosť, že predpokladaná premávka je obojsmerná. Z hľadiska bezpečnosti dopravy je viac kritický prechod z približovacieho do výjazdového pásma ako naopak, preto predpokladáme, že riadenie osvetlenia vo výjazdovom pásmo bude identické s výjazdovým pásmom. Architektúra fuzzy riadiaceho systému osvetlenia tunela, ktorá by mohla byť použiteľná v podmienkach tunela Branisko, je na obrázku 1.

ZÁVER

Riadenie tak komplexného technologického celku akým je diaľničný tunel si vyžaduje dôslednú harmonizáciu funkcií všetkých subsystémov [4]. Konvenčné spôsoby riadenia sú ťažkopádne, málo flexibilné a robustné. Cieľom príspevku bolo poukázať na možnosti aplikácie relevantných skúseností z príbuzných realizovaných stavieb a tiež výhody vyplývajúce z použitia fuzzy logiky pre riadenie vybraných bezpečnostne kritických funkcií tunela. Ukazuje sa, že po zvládnutí štádia modelovania a optimalizácie správania riadiaceho systému by sa fuzzy logika mohla stať významným nástrojom pri zvyšovaní bezpečnosti i hospodárnosti prevádzky cestných tunelov, vrátane tunela Branisko. Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia projektu č. 1/8261/01 "Uplatnenie umelej inteligencie v riadení kritických procesov", podporovaného grantovou agentúrou MŠ SR a SAV SR VEGA.

LITERATÚRA / REFERENCES

- MANGOLD, M. - TRÄGER, K. - LINDEBACH, A.: Efficiency of Traffic Control Systems Focusing on Detection of Environmental Data. Research work for Ministry of Transport, Kassel, 1996.
- SPÁLEK, J. - MOLNÁROVÁ, M.: "Using fuzzy logic in the Critical Process Controlling", Proc. of the 10th International Conference Communications on the edge of Millenniums, University of Žilina, September 9-11, 1998, pp. 97-100.
- PŘIBYL, P.: Technologické vybavení tunelů pozemních komunikací. Technické podmínky. ELTODO, a. s., Praha, 1997.
- SPÁLEK, J. a kol.: Informačný systém tunela a riadenie dopravy v tuneli. In: Súťažný návrh "Diaľnica D1 Beharovec - Branisko", technologická časť, Zmluva o dielo č. 5-520/97, Křížik, a.s., Prešov - ŽU, Žilina, 1997.
- SCHLOSSER, T.: Inteligentné dopravné systémy. Bratislava: JAGA group, 2001.
- PŘIBYL, P.: Inteligentní dopravní systémy. Technická literatura BEN, Praha, 2001.

line". This kind of control has many disadvantages - indirect coupling to the traffic volume through pollution measurement, negative influence of large disturbances and difficulties of keeping the controller stable, higher consumption of power because (bigger quantity of air blown than necessary). Fuzzy logic control with prediction of traffic data enables to operate with the values close to marginal levels of exhalation concentrations. Thus total electric power consumption can be decreased.

CONTROL OF TUNNEL ILLUMINATION

Realisation of tunnel illumination aims to ensure safety over day and night, fluent traffic operation and visual comfort of all participants respecting a given imposed speed. Considering visual adaptation of drivers the tunnel illumination is critical during day hours because of driver transition from high to low level luminance environment. For that reason five illumination areas are differentiated:

- **An approach area** - road section close to the tunnel entrance. The luminance value L_{20} is measured from the viewing angle of 20° in the distance equivalent to the total braking distance of a vehicle in front of the entrance. It depends on geographical orientation, background brightness, actual atmospheric conditions, time of the day and year season;

- **An entrance area** - is defined by the **threshold and transient areas**. The threshold area is the first area inside the tunnel proper with a distance equivalent to the total braking distance. The luminance value is $L_{th} = k \cdot L_{20}$ (e.g. under conditions of the tunnel Branisko the value $k = 0.05$ was used). In the transient area the luminance level fluently goes down to the level of inside area. Optimum distance of the transient area enables our eye to be adapted up to time t after entering the transient area. The luminance value is determined according to the empirical formula $L_{tr} = L_{th} (1.9 + t)^{-1.4}$ [3];

- **An inside area** - the area with a constant level of the luminance L_{in} given by the total braking distance and actual traffic flow intensity;

- **An exit area** - a driver's sight is affected by background brightness outside the tunnel. The luminance value L_{ex} is not critical since outlines of objects situated in the exit are well seen on the clear background of the exit opening.

Available methodology for computation of tunnel illumination is given in the regulation CIE 88/1990 "Guide for the Road Tunnels and Underpassing". It makes static control possible on the base of designed tunnel speed and actual value of the luminance L_{20} .

Illumination inside the Branisko tunnel

The use of fuzzy logic could make adaptive illumination control in a real time possible, could also enable respecting instantaneous speed and intensity of the traffic flow and making correction of inaccurately or incorrectly measured physical quantities and weather effects. This would significantly contribute to the higher level of traffic safety and consequently to cost reduction of tunnel operation.

As the primary entries of the control system there are luminance quantities from luminance meters used, represented by four special CCD cameras. The luminance value L_{20} is measured in a distance of 80 m from portals, the value L_{th} of the accommodation zone in a distance of 100 m from entrances. Actual parameters of the traffic flow, weather conditions, signalling mode inside the tunnel and real time are the secondary parameters.

To control sections of light fittings in the transient area the value L_{20} is evaluated by the fuzzy-inference system in 6 stages: sunny, half cloudiness, cloudiness, twilight, light night and dark night. Computed value L_{th} (Calc.) is in the fuzzy-inference system FIS-2 corrected by the measured value L_{th} (Meas.) and simultaneously their dynamics is evaluated [3]. The difference $\Delta L_{th} = L_{th}$ (Calc.) - L_{th} (Meas.) represents a regulation deviation of the system. The plausibility $MV(L_{th})$ of L_{th} gets the value from the interval (0, 1). Its comparison with the threshold value makes solution of failure modes possible by transition to static illumination control of the tunnel transient area. In a tunnel N_p sections of light fittings in the transient area are assumed. Their control is non-linear and determined by the instantaneous value of L_{in} . Therefore, outputs of the corresponding fuzzy-inference system FIS-3 are generated for each section separately. Thus a fluent change of luminance can be reached at the end of the threshold area and beginning of the inside area.

The recommended values of luminance in the inside area are defined (e.g. $3 \div 4 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ over day, $1 \div 2.5 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ over night). The fuzzy-inference system FIS-4 optimises control of section illumination in accordance with actual traffic data.

Designing luminance control in the exit area of tunnels we must respect the fact if two-way traffic is assumed. From the point of safety view transition from approaching to entrance area is more critical than the other way round. Therefore, illumination control in the exit and entrance areas is supposed to be identical. The architecture of the illumination control system, as it could be used under conditions of the tunnel Branisko, is shown in Fig. 1.

CONCLUSIONS

Control of such a complex technological unit as a motorway tunnel requires consistent harmonisation of all the subsystems' functions [4]. Conventional ways of control are cumbersome, not flexible and robust enough. The paper has aimed to show possible applications of relevant knowledge gained from related realised constructions and advantages resulting from the use of fuzzy logic to control selected safety-critical functions of the tunnel. It turns out that after mastering the stages of modelling and optimising the behaviour of the control system, fuzzy logic could become an outstanding tool to increase safety and operation efficiency of road tunnels, including the motorway tunnel Branisko.

This work has been supported by the Grant Agency of the Slovak Republic VEGA, grant. No. 1/8261/01 "The Use of Artificial Intelligence for Critical Processes Controlling".