

Aleš Lieskovský – Ivo Myslivec \*

## FUZZY LOGIKA V RIADENÍ ŽELEZNIČNÝCH VOZIDIEL – NUTNOSŤ ALEBO MÓDA?

### FUZZY LOGIC IN RAILWAY VEHICLE CONTROL – A NECESSITY OR A MODE?

Článok sa zaoberá literatúrou pripisovanými a skutočnými vlastnosťami prevádzkovaných konvenčných (nie-fuzzy) regulátorov na automatizáciu riadenia železničných vozidiel. Na príkladoch z bežnej prevádzky na Českých dráhach dokazuje, že konvenčné regulátory sú nielen prevádzkyschopné, ale že majú také parametre, ktoré budú fuzzy zariadenia len ťažko spĺňať. Svoje tvrdenia podporujeme nie výsledkami simulácií, ale výsledkami skutočnej mnohoročnej prevádzky konvenčných regulátorov rýchlosti a cieľového brzdenia.

V poslednom čase sme mali možnosť prečítať niekoľko odborných článkov, opisujúcich možnosti využitia regulátorov na báze fuzzy logiky v procese riadenia železničných hnacích vozidiel. Aj keď tieto články pochádzali od autorov z rôznych častí Európy, všetky sa vzácné zhodovali v tom, že iba fuzzy logika umožní vytvoriť regulátor rýchlosti či regulátor cieľového brzdenia použiteľný v praxi.

V článkoch sa porovnávali fuzzy regulátory, či dokonca iba ich simulácie so simuláciami regulátorov konvenčných (t. j. nie-fuzzy), nikdy nie však s regulátormi skutočnými (aj keď existujúcimi a využívanými). Z týchto porovnaní vždy vychádzali fuzzy regulátory ako lepšie – t. j. spoľahlivejšie, kvalitnejšie, jednoduchšie, menšie. Konvenčný regulátor bol naopak prezentovaný ako síce teoreticky riešiteľný, avšak zložitý na programovanie, náročný na pamäť, pomalý, málo stabilný, so zlými vlastnosťami.

Naša skupina sa problémom automatizácie riadenia hnacích vozidiel zaoberá takmer 40 rokov, z čoho posledných 13 rokov ide o regulátory číslicové. Cítíme sa preto byť dostatočne odborne povolaní k vyjadreniu nášho stanoviska k danej problematike.

Pripomeňme históriu vývoja automatizačnej techniky pre hnacie vozidla v ČSD a ČD.

Prvé regulátory rýchlosti vznikli v polovici 60. rokov. Zo zrejmych dôvodov boli analógové a v analógovej technike je akékoľvek „fuzzy“ správanie súčiastok nežiaduce. Napriek tomuto technologickému obmedzeniu sa na tejto platforme vyrobilo niekoľko stoviek kusov regulátorov rýchlosti v troch technologických úrovniach (o. i. to bolo prvé sériové nasadenie regulátorov rýchlosti v Európe a zrejme i vo svete – 35 kusov v roku 1972), ako aj nie-

*The paper addresses features imputed by literature with real features of applied conventional (non-fuzzy) regulators for automation of railway vehicles control. It demonstrates with examples from everyday operation on the Czech Railways that conventional regulators are not only able for everyday operation, but they have parameters that fuzzy regulators will achieve only with difficulties. The authors support their assertions not by the results of simulations but by the results of real, long-term, everyday use of conventional speed regulators and target braking ones.*

Recently we have read several expert articles dealing with the possibility of use of fuzzy-logic based controllers in the railway traction vehicles control process. Although these articles came from different parts of Europe, all of them conformed to the declaration that only the fuzzy logic enables to create a speed regulator or the target-braking regulator, which are usable in daily operation.

In the articles, the fuzzy regulators or even only their simulations were compared to simulations of conventional (i.e. not-fuzzy) regulators, but never to real regulators, which exist and are in everyday operation. The fuzzy regulators proceeded from these comparisons as better – i.e. more reliable, first-rate, simpler and smaller. The conventional regulators, on the other hand, were presented as theoretically possible but difficult to program memory consuming, slow, not stable enough and of bad quality.

Our research group have dealt with the problem of railway vehicle automation for almost 40 years, from which the last 13 years we have dealt with digital regulators. Therefore, we feel to be experienced enough in this branch to present our opinions.

Let us remind you of a history of development of automation technology for traction vehicles for Czechoslovak and next for Czech Railways.

Speed regulators first came into existence in the half of 1960's. They were analogue, of course, and in analogue technology, any “fuzzy” behavior of components is undesirable. Nevertheless, in spite of the technological restriction, several hundreds of analogue speed regulators were made in three technological levels (by the way, Czechoslovakia was the first country in Europe and probably

\* Dr. Ing. Aleš Lieskovský, Dr. Ing. Ivo Myslivec

AŽD Praha s.r.o., Dpt. Research & Development, Žitovnická 5, CZ-10617 Praha 10, Czech Republic,  
Tel.: +420-2-67287371, E-mail: Lieskovsky.Ales@azd.cz, Myslivec.Ivo@azd.cz

koľko vzoriek regulátorov cieľového brzdenia pre železniciu a celá séria týchto regulátorov pre metro.

Po nástupe číslicovej techniky táto začala prenikať aj do oblasti automatizácie riadenia hnacích vozidiel. Spočiatku iba do periférnych obvodov analógových regulátorov rýchlostí či do obvodov pomocných funkcií, avšak začiatkom 90. rokov bol sprevádzkovaný prvý mikroprocesorový regulátor. Trocha paradoxne bol ako prvý vytvorený mikroprocesorový regulátor cieľového brzdenia, ktorý spolupracoval s klasickým analógovým regulátorom rýchlostí. Vzhľadom na priaznivé skúsenosti s analógovým regulátorom aj vzhľadom na jeho vlastnosti bolo celkom prirodzené, že program mikroprocesorového regulátora zodpovedal štruktúre jadra regulátora analógového. A pretože analógový regulátor bol konvenčný (nie-fuzzy), bol aj číslicový regulátor konvenčný. Schopnosti procesoru potom boli využité na aplikáciu ďalších funkcií a na vylepšenie funkcií existujúcich - išlo hlavne o celkom nový systém orientácie vlaku na trati.

Prvý program pre regulátor cieľového brzdenia (RCB) bol napísaný v assembleri procesoru Z80. Veľmi úspešne bol v prevádzke odskúšaný na funkčnej vzorke regulátora cieľového brzdenia prevádzkovanom v rokoch 1991 - 95 na rušni 163.034 medzi stanicami Praha Masarykovo nádraží a Kolín. Téma o nepoužitelnosti konvenčného regulátora v praxi teda neplatí.

V roku 1992 bol systém modernizovaný na procesor I8088. RCB bol prepísaný do assemblera tohto procesora a rozšírený o funkciu energetickej optimalizácie jazdy vlaku (OJV). V jednom procesore na frekvencii 4.77 MHz teda v reálnom čase bežali 4 vetvy CB (to všetko dokopy taktované prerušením 50 ms), proces orientácie na trati (volaný vždy po ubehnutí dráhy 0,10 m) a proces energetickej optimalizácie jazdy. Veľkosť celého programu RCB + OJV je 14 kB, z čoho vlastný regulátor zaberá necelých 0,8 kB, asi 1,5 kB tvorí časť vyberajúca aktuálne ciele a zvyšok je orientácia na trati a v cestovnom poriadku, servisné programy, riadenie komunikácie a ďalšie podporujúce podprogramy. Optimalizátor jazdy zaberá 2 kB, knižnica aritmetiky v plávajúcej čiarky potom 0,8 kB. Na základe týchto skutočností neplatí tvrdenie, že konvenčný regulátor je veľmi rozsiahly a pomalý.

V nasledujúcich dvoch rokoch boli vystrojené 4 motorové vozne radu 470 číslicovou reguláciou od centrálného riadiaceho člena až po energetickej optimalizáciu jazdy (teda s výnimkou vlastného regulátora pohonu). V roku 1993 bol teda sprevádzkovaný prvý číslicový regulátor rýchlostí. Tento regulátor vychádza rovnako ako regulátor cieľového brzdenia zo svojho analógového predchodcu, a preto je konvenčný. Opäť bol napísaný veľmi efektívnym spôsobom, takže zaberá asi 6 kB pamäti a rovnako ako spomínaný regulátor je aj tento regulátor založený na procesore I8088. Všetky 4 motorové vozne jazdia s uvedeným regulačným systémom aj v súčasnosti na veľkú spokojnosť rušňovodcov (podstatné uľahčenie služby a zvýšenie bezpečnosti premávky), ako aj pracovníkov údržby (systém nevyžaduje nijakú údržbu a sporadické poruchy idú prevažne na vrub zdrojovej časti systému). Obľúbenosť konvenčného regulátora potvrdzuje jeho spoľahlivosť, stabilitu a presnosť - bez týchto vlastností by ho prevádzka odmietla.

also in the world where serial speed regulators came into regular everyday operation - 35 pieces in 1972).

As digital technology came into everyday use, it began to penetrate into automation of railway vehicle control. The first use was in peripheral circuits of analogue speed regulators and in auxiliary functions, but at the beginning of the 1990's, the first microprocessor regulator was built. As a little paradox, the first microprocessor regulator was the target-braking regulator, which cooperated with the classical analogue speed regulator. Because of favorable experience with the analogue target-braking regulator and because of its good properties, it's no wonder that the microprocessor regulator program corresponded to the the core structure of the analogue regulator. And as the analogue regulator was conventional (non-fuzzy), the digital regulator was conventional, too. The processor capabilities were utilized for new function applications and for making present functions better - and as the most important, for making a completely new system of train-on-track orientation. The first program of the target-braking regulator was written in the assembly language of the Zilog Z80 microprocessor. The regulator was very successfully tested in the period of 1991 - 1995 between the Praha Masaryk's station and Kolín (62 km) on the DC universal engine 163.034. These experiences contradict the published opinions about an inapplicability of conventional regulators in practice.

In 1992, the system was updated by microprocessor Intel I8088. The program was rewritten into this processor's assembly language and the function of energy optimization of the train running was added. So, in real time, four parallel branches of the target-braking regulator were running under 50 ms interrupt, on-track orientation was executed every 0.1 m of passed distance and energy optimization function running in the main loop - that all in one processor with a 4.77 MHz clock. The entire program of the target-braking and energy optimization regulator occupied 14 kilobytes of memory. From these, the core of the target-braking regulator (target-braking regulation itself) is 800 bytes. The part, which selects the relevant targets, is about 1.5 KB, and the rest is on-track and timetable orientation, communication control and other auxiliary subroutines. The energy optimization occupies 2 KB, and the flow-point mathematical library is 800 bytes large. Regarding the above mentioned properties we contradict the published arguments that the conventional regulator is very large and slow.

In the following two years, four class 470 electric motor coaches were equipped with a fully digital control, which included a local and central control unit, speed regulator, target-braking regulator and energy optimization regulator (i.e. excluding low-level traction control). So, the first digital speed regulator came into operation in 1993. Alike the target-braking regulator, the speed regulator arises from its analogue predecessor and that is why it is conventional. It was written in a very effective way and occupies about 6 kilobytes of memory. The processor is still the same type - I8088. All four coaches run with the described control system until these days, with great pleasure of drivers (making the duty easier and safety increasing) and maintenance workers (maintenance-free system). The popularity in everyday operation confirms the reliability, stability and preciosity of these conventional regulators; without these features the staff would have refuse them.

V nasledujúcich rokoch boli v našej skupine vytvorené ďalšie konvenčné regulátory – centrálné regulátory vozidla (obsahujúce okrem centrálneho riadiaceho člena tiež regulátor rýchlosti) pre vozne 843 a 943 (celkom 42 vozidiel, programované v assembleri procesora Siemens 80C166), centrálné regulátory a regulátory cieľového brzdenia vrátane energetickej optimalizácie (tzv. automatické vedenie vlaku - AVV) pre vozne 471 a 971 (k 1. 1. 2001 zatiaľ 10 vozidiel, ďalšie vo výrobe, programované v jazyku C a v assembleri procesora Motorola 68360), regulátory rýchlosti pre lokomotívy r. 111 s diaľkovým rádiovým riadením a rušne r. 754 (zatiaľ 3 + 1 vozidlo, opäť procesor SIEMENS 80C166). Ďalej boli pripravené regulátory pre nakoniec nerealizované lokomotívy radu 714.3 a tiež pre toľko diskutované (a zatiaľ definitívne neodsúhlasené ani nezamietnuté) vysokorýchlostné jednotky r. 680 s naklápacími skriňami.

V súčasnej dobe naša skupina pracuje na ďalšej realizácii kompletného regulačného systému vrátane energetickej optimalizácie jazdy pre pražské metro (systém na báze procesora Motorola 68360).

Tento dlhší historický exkurz mal ukázať, že v danej problematike sme na rozdiel od mnohých iných autorov neskončili pri teoretických výpočtoch či simuláciách, ale navrhnuté regulátory aj skonštruovali a uviedli do bežnej železničnej prevádzky.

Vyššie uvedené konkrétne realizácie dokazujú vhodnosť a správnosť použitia konvenčných metód pri riešení regulátora rýchlosti aj regulátora cieľového brzdenia.

Pri správnej a dôslednej analýze problému, či už regulátora rýchlosti alebo regulátora cieľového brzdenia, je možné celý problém rozdeliť do čiastkových úloh, ktoré sú matematicky presne a jednoducho opísateľné a preto i programovateľné. Najzložitejšími matematickými úkonmi vykonávanými v našich regulátoroch sú odmocnina (naviac riešená rýchlym originálnym algoritmom na základe Hornerovej schémy) a trojčlenka. Nami zostrojené a prevádzkované regulátory dokazujú, že aj diferenciálna rovnica pohybu vlaku je s dostatočnou presnosťou riešiteľná týmito nástrojmi.

#### *Konkrétne výsledky:*

Kvalitu regulátora rýchlosti môžeme posúdiť v 3 pracovných režimoch regulátora: presnosť udržiavania rýchlosti (t. j. statická presnosť), reakcia na skok požadovanej rýchlosti (t. j. rýchlostný odozvy a aperiodicita navedenia na novú hodnotu), a schopnosť sledovania premennej hodnoty požadovanej rýchlosti. Zatiaľ čo prvé a väčšinou aj druhé kritérium sleduje väčšina autorov fuzzy zariadení, tretiemu kritériu časť autorov zrejme nevenuje pozornosť, aj keď ono je pre správnu činnosť regulátora cieľového brzdenia rozhodujúce.

Kvalita regulátora cieľového brzdenia sa analyticky posudzuje obtiažnejšie, avšak veľmi vhodné a názorné je štatistické spracovanie výsledkov regulácie, t. j. presnosti dojazdov do cieľa. Na posúdenie kvality regulátora je však potrebné posúdiť aj priebeh procesu brzdenia (či nedochádza ku kmitaniu brzd, k niekoľkokrátovému

In the following years, our research group had developed the next conventional regulators – central vehicle regulators (which include both central control units and speed regulators) for class 843 diesel coaches and for class 943 driving trailers (together 42 vehicles; regulators were programmed in assembly language of Siemens 80C166 microprocessor), next, central vehicle regulators and target-braking regulators including energy optimization (Automatic train operation AVV) for suburban EMU's class 471 and 971 (10 vehicles in operation at present next ones are being manufactured, the regulators are programmed partly in C-language and partly in assembly language of Motorola 68360 microprocessor), speed regulators for shunting locomotives class 111 with remote radio control and for universal diesel loco class 754 (at present, 3 + 1 vehicles also with Siemens 80C166 microprocessor). Last but not least, the regulators for diesel locos class 714.3, which have been scratched at last, and for problematic (and definitively neither ordered nor refused) high-speed EMU's with tilting bodies class 680 were prepared.

At present time, our group is preparing the realization of complete control system including energy optimization for the Prague underground railway (Metro). The system is based on the Motorola 68360 microprocessor.

This a slightly longer historical excursion should show our experience in this task. We haven't finished our work by theoretical calculations and simulations, but we have brought the described regulators into regular everyday operation.

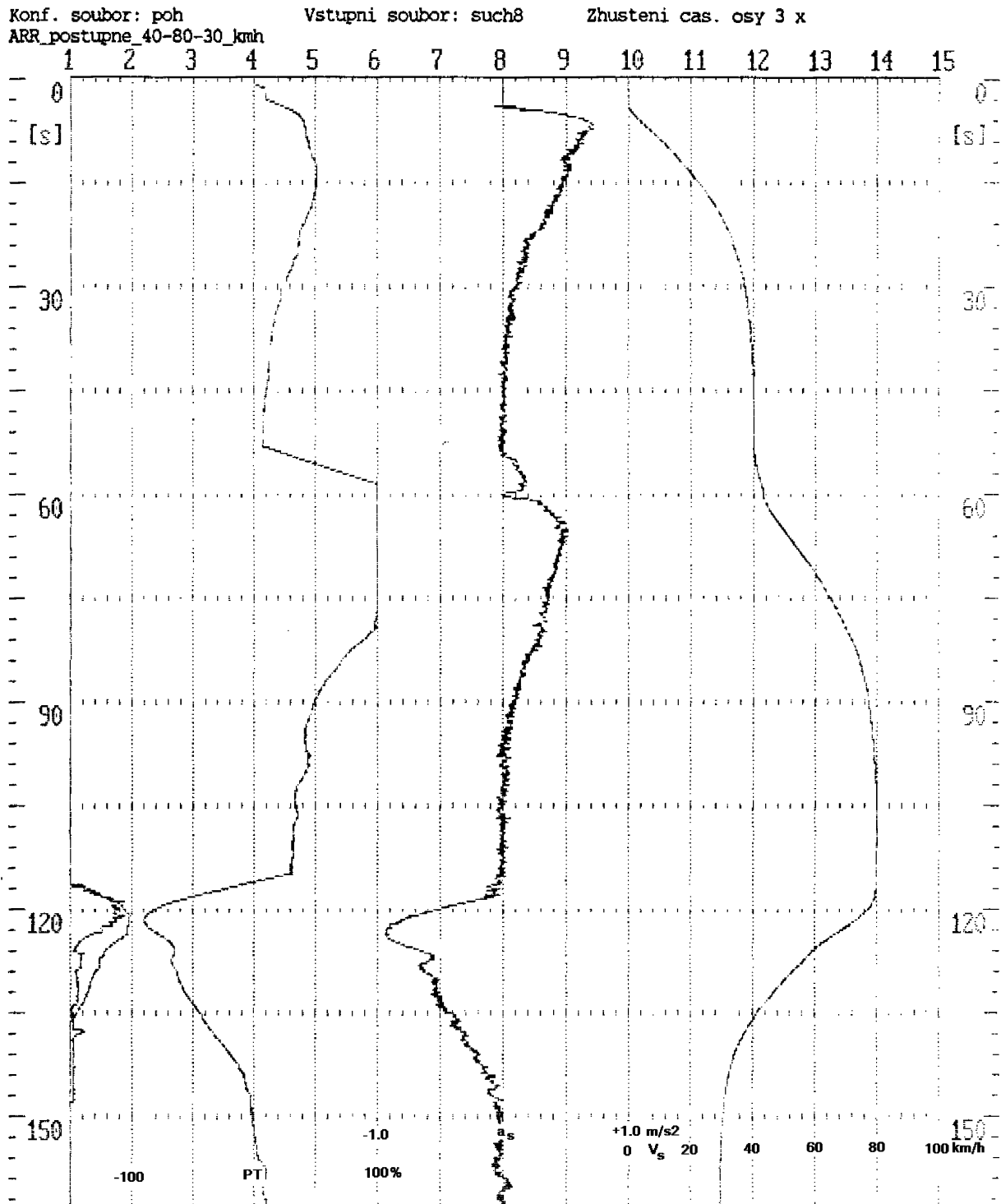
The above-mentioned realizations demonstrate that it is suitable and correct to use conventional methods for solving speed regulator or target braking.

During the correct and consequential analysis of the problem of whether speed regulator or target braking, the whole problem can be separated into partial problems that are able to be mathematically exactly and simply described and, hence, simply programmed. The most complicated mathematical acts, which are used in our regulators, are square root (which is solved by special algorithm based on Horner's scheme) and rule of proportion. Our regulators demonstrate that even by these simple tools, the differential equation of train running is solvable with sufficient precision.

#### *Our results:*

The quality of a speed regulator can be appreciated in three working modes: the precision of keeping speed (i.e. static accuracy), the reaction to required speed jump (i.e. the speed of response and the aperiodicity of reaching a new value of required speed) and the ability to trace the varying value of required speed. While the majority of authors of fuzzy devices watch the first and also, mostly the second criteria, the third criterion remained hidden for a part of them, but it is crucial for a correct working of the target-braking regulator.

The quality of the target-braking regulator is a more difficult to appreciate analytically, but statistical evaluation of the results of regulation, i.e. arrivals to target point, is very objective. For appreciation of regulator quality, it is necessary to appreciate the course of braking (if there are no oscillations during braking, if the real speed at target point is not less than target value) and both



Obr. 1. Proces navádzania motorového vozňa 843.031 (14.07.1999, Suchdol n. O.) na rozličné požadované rýchlosti  
 Fig. 1. The process of vectoring of diesel coach 843.031 (14.Jul.1999, Suchdol n. O.) to different required speeds

brzdění alebo sa nedosahuje cieľová rýchlosť) a obidvoch prechodových dejov, t. j. navedenia na brzdnú krivku a prechodu do ustálenej rýchlosti či zastavenia. Osobitne zaujímavé a vypovedajúce sú potom výsledky brzdění bez použitia dynamickej brzdy.

transient processes, i.e. reaching the leading curve and transition into constant target speed or stopping. The very interesting results of the target-braking process are the ones with rheostat brake failure or brake out of operation.



Obr. 2. Záznam presnosti dojazdov elektrickej jednotky radu 471 - jedna stanica, rôzne vlaky

Fig. 2. The record of stoppings of EMU class 471 - one station, different trains

Podobne, t. j. štatisticky, je vhodné hodnotiť výsledky činnosti optimalizátora jazdy.

Ďalšou oblasťou posudzovania kvality regulátorov je ich činnosť v prípade vonkajšieho zásahu do regulovaného procesu.

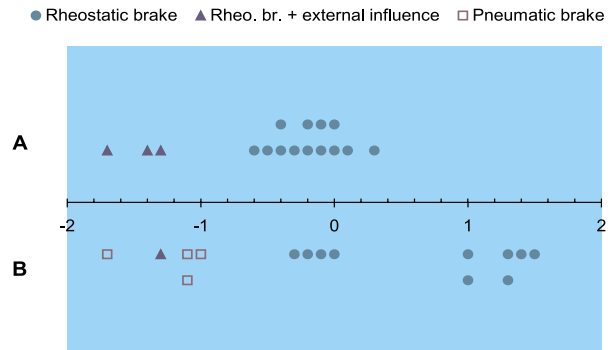
Zatiaľ čo pri regulátore rýchlosti je vonkajšie narušenie procesu regulácie (t. j. v tomto prípade použitie brzdy rušňovodičom) viacmenej výnimočné a ošetrovanie situácie je záležitosťou podporujúcej logiky regulátora a nie vlastného regulačného jadra, pri cieľovom brzdení dochádza k podobným narušeniam podstatne častejšie. Najčastejšími sú šmyk náprav a výpadok dynamickej brzdy v priebehu brzdenia.

Optimalizátor jazdy sa potom musí vyrovnávať hlavne s výpadkom pohonu v priebehu rozjazdu a s neplánovaným obmedzením rýchlosti zavineným dopravnou situáciou.

Ďalšou situáciou, podľa ktorej je nutné posudzovať kvalitu regulátorov, je ich odozva na technickú poruchu vlastnú alebo periférnych zariadení. Aj keď nami vyvinuté regulátory nemajú atribút bezpečných (fail-safe) zariadení, sú vytvorené tak, aby všetky detekované nedostatky navodili pokiaľ možno bezpečnejší stav.

V prípade poruchy je reakcia systému závislá od závažnosti poruchy. Poruchy možno rozdeliť na nezávažné a závažné. Ako príklad uvedieme členenie pri regulátore cieľového brzdenia - za nezávažné považujeme napr. neprečítanie traťového informačného bodu na širšej trati, kedy systém po vyčerpaní dráhovej tolerancie v priebehu ktorej ešte akceptuje čítanie informačného bodu reaguje tak, ako keby bol bod prečítaný v predpokladanom mieste. V tomto prípade iba nedochádza k upresneniu chyby polohy vzniknutej nepresnosťou nastavenia priemeru kolies a vplyvom šmykov a sklzov, avšak nemôže dôjsť k strate informácie o traťovej či staničnej koľaji. Na upresnenie dodávame, že tolerancia tejto chyby je obmedzená na určitú dráhu od posledného korektné prečítaného informačného bodu.

Za závažnú chybu sa naopak považuje napr. neprečítanie informačného bodu za rozvetvením koľají, kde sa stráca informácia o tom, po ktorej staničnej či traťovej koľaji vlak ďalej pokračuje. V tomto prípade systém ohlásí rušňovodičovi stratu orientácie,



Obr. 3. Štatistika dojazdov elektrickej jednotky radu 471 - dva vlaky, rôzne stanice. A - suchá koľaj, vlak 9355, 22. 03. 2000, B - mokrá koľaj, vlak 9308, 28. 3. 2000. Stupnica osy x je od -2 do +2 m

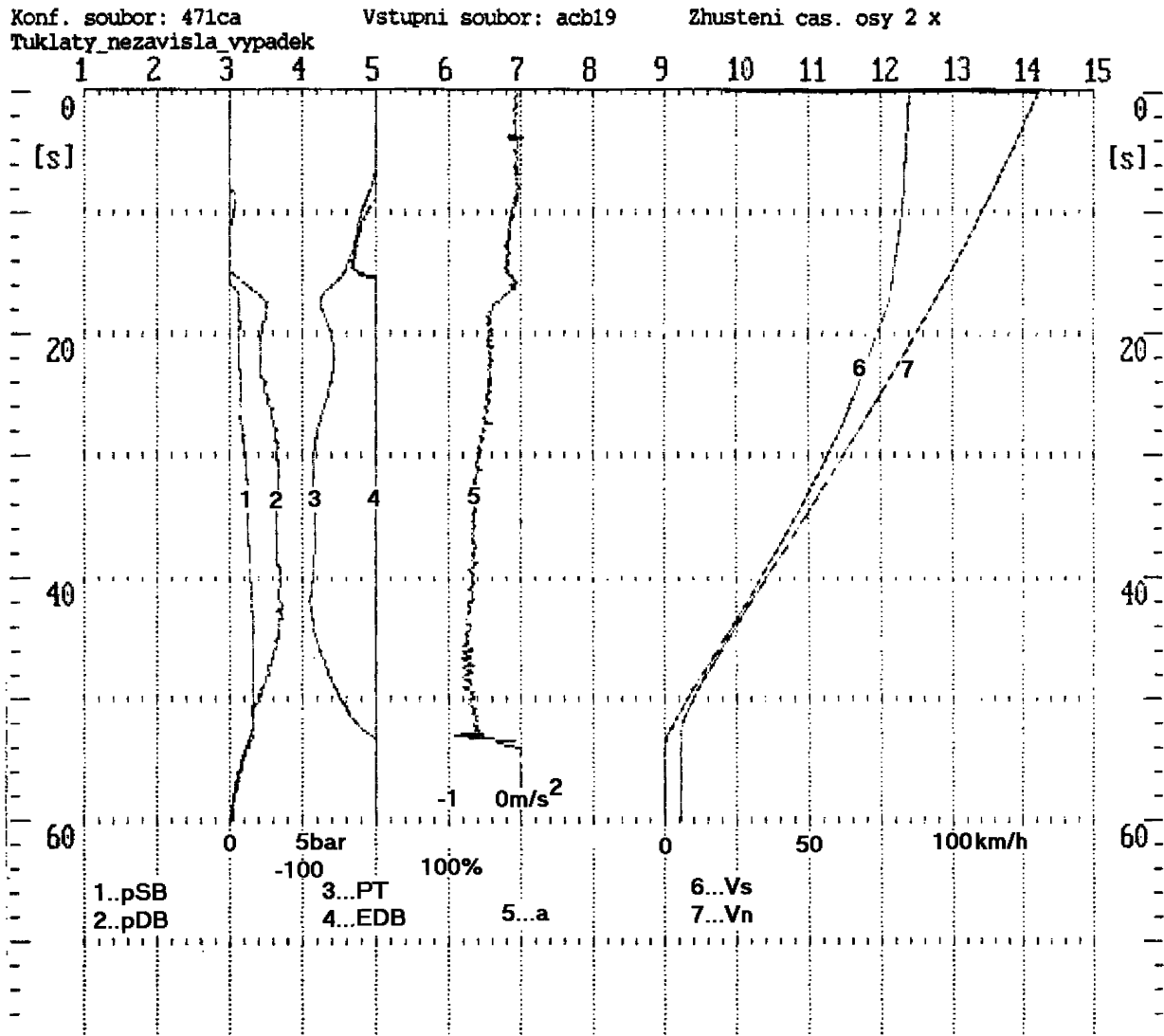
Fig. 3. The statistics of stoppings of EMU class 471 - two trains, different stations. A - dry rails, train nr. 9355, 22. Mar. 2000 B - wet rails, train nr. 9308, 28. Mar. 2000 The range of x-axis is -2 to +2 meters

In a similar way, i.e. using statistics, the appreciation of an energy-saving regulator should be done.

The behavior of regulators should be watched also in the case of external intervention in a controlled process. While this intervention is more or less extraordinary in a speed regulation process (the application of an emergency brake can be considered as this kind of intervention) and it is solved by auxiliary logic of speed regulator, the target braking regulation is intervened much more frequently. The most frequent causes are skids and rheostatic brake failures.

The energy optimization regulator primarily must solve short-time traction failures and unplanned speed restrictions because of the traffic situation.

Another criteria describing the quality of regulators are their responses on their own failures or failures of peripheral devices. Although our regulators don't have a fail-safe attribute, they are made in such a way so every detected failure should lead to a safe state. In case of failure, the reaction of the system depends on the consequence of the failure. The failures can be consequential or non-consequential. For instance we can describe the sorting of failures of target-braking regulation - the non-consequential failure is e.g. the missing information point in the track between stations, the system adds the track information so as the information point had been read correctly. In this case, only the precision of distance measuring is lowered because of skids and slips, but the fundamental information about the number of the track or station line is not lost. We notice that the tolerance to this failure is limited to a certain distance measured from the last correctly read information point. On the other hand, the consequential failure is, for instance, the missing information point behind the track branching (junction points, stations). In this case, the information about the line number is lost, and the train cannot continue running. The system writes the warning message on the driver's screen, and if the driver won't switch the regulator off and start to control the train manually, the system will start the braking. Other failures are



Obr. 4. Priebeh cieľového brzdenia s výpadkom dynamickej brzdy (471.002, 22. 10.2 000, Tuklaty)

Výpadok nastáva v 15. sekunde záznamu (stopa 4), nastáva zások doplnkovou brzdou (st. 2), odrýchlenie klesá (st. 5), riadiaci signál PT narastá (st. 3) a aktivuje priebežnú vzduchovú brzdou (st. 1)

Fig. 4. The course of target braking with rheostatic brake failure (EMU 471.002, 22. Oct. 2000, Tuklaty)

The failure occurs in 15th second of the record (channel 4), the additional pneumatic brake comes into operation (ch. 2), the deceleration sinks (ch. 5), the control signal PT (ch. 3) rises and enables the pneumatic train brake (ch. 1)

začne brzdiť a vyzve rušňovodiča na prevzatie riadenia pod svoju kontrolu. Pokiaľ tak rušňovodič neurobí, dôjde k prevádzkovému zastaveniu vlaku. Vidíme, že tu nie je žiaden priestor pre fuzzy správanie systému. Obdobne sú ošetrené aj ďalšie poruchy systému.

Špecifický je problém zisťovania skutočnej rýchlosti vozidla. Je všeobecne známe, že z idúceho vozidla je pomerne obtiažne zistiť jeho skutočnú rýchlosť. Ak pominieme atypické riešenia, ako je radar (obtiažna činnosť napr. pri zasneženej trati - rušenie zvršeným snehom, celková malá odolnosť voči železničnému prostrediu atď.), inerčné snímače (ovplyvňované sklonom a nekvalitou koľajového zvršku) či GPS (signál nepresný, oneskorený, kvantovaný - absolútne nevhodný na reguláciu), zostáva iba jediné použiteľné a v skutočnosti aj používané meranie otáčavej rýchlosti

solved in a similar way. It is clear that there is no space for fuzzy behavior of the target-braking regulator.

A specific problem exists - measuring the real speed of a vehicle. It is generally known that it is difficult to obtain real speed value on a moving vehicle. When we exclude the atypical methods like radar (difficult operation on a snow covered track, low resistance to railway environment, etc.), inertial sensors (sensitivity to gradients and places with bad track geometry) or GPS (signal with low precision, delayed, discrete - absolutely not suitable for regulation purposes), only one method remains: the wheel revolutions measuring method, and it is usually used on vehicles. The precision of measuring depends on the precision of the setting

jednotlivých náprav vozidla. Vyhodnotenie skutočnej rýchlosti je ovplyvnené presnosťou nastavenia priemeru kolies. Pri vozidlách bez cieľového brzdenia je presnosť tohto nastavenia všeobecne veľmi nízka (my sme zaznamenali až 8 % odchýlku od skutočného priemeru), avšak vozidlá opatrené cieľovým brzdením sú nastavované veľmi presne. Inakšie by nebolo cieľové brzdenie funkčné (z praktickej skúsenosti môžeme povedať, že všetkých 14 vozidiel vybavených cieľovým brzdením má toho času priemery kolies nastavené s presnosťou lepšou ako 2 promile).

Presné, rýchle a kvalitné (v zmysle derivovateľnosti na získanie okamžitého zrýchlenia) meranie rýchlosti je nutnou podmienkou na vytvorenie kvalitného regulátora rýchlosti. Tieto požiadavky už nespĺňajú bežné metódy merania rýchlosti založené na meraní času medzi dvoma impulzmi snímača alebo na meraní počtu impulzov snímača za jednotku času, poprípade ich jednoduchá kombinácia. Preto bol vo všetkých našich aplikáciách použitý celkom nový – samozrejme konvenčný – prístup na spracovanie signálu bežného rýchlostného snímača. Jeho opis by sa však vymykal zameraniu tohoto článku.

Otáčavá rýchlosť je snímaná snímačmi, ktoré osobitne v určitých obdobiach (typicky po veľkom daždi či prejazde umývacím strojom) vykazujú značnú poruchovosť, ktorá však po niekoľkých hodinách sama poklesne takmer na nulu. Tu sa teda vyskytuje náhodná porucha majúca za následok skreslenie údajov rýchlosti. Aj šmyk dvojkolesia pri brzdení či sklz pri rozjazde sa prejaví obdobne ako náhly skok rýchlosti.

Meranie rýchlosti musí byť preto robené na čo najväčšom počte náprav vozidla, aby sa vylúčili vyššie spomínané chyby vzniknuté náhodnými vplyvmi a pri niektorých aplikáciách ešte ďalej porovnávané s tzv. fiktívnou nápravou na obmedzenie vplyvu synchronných šmykov a sklzov. Všetky naše aplikácie regulátorov rýchlosti preto využívajú signály všetkých dostupných nápravových rýchlostných snímačov.

Problémom presnosti merania rýchlosti sa zaoberá [1]. Závery článku sú však v rozpore s nami zistenými výsledkami činnosti našich konvenčných regulátorov cieľového brzdenia. Tak úvaha, že je možné využiť dva snímače z ktorých jeden je umiestnený na trakčnom motore a druhý na hnacej náprave je nesprávna, lebo oba tieto prvky sú mechanicky zviazané a ich rýchlosť je vzájomne úmerná. Ďalej nie je pravda (ako dokážeme ďalej), že na riešenie tohto problému je nevyhnutné použitie fuzzy logiky. Aj použitý simulačný model vykazuje isté odlišnosti od skutočného priebehu: časový priebeh rýchlosti pri cieľovom brzdení nie je funkcia exponenciálna, ale lineárna s parabolickými prechodovými dejmi. Aj poruchový priebeh býva málokedy trvalý, vykazuje náhodné prepady; t. j. relatívna chyba merania rýchlosti kolíše v značnom rozsahu. Otázne teda je, ako by uvedený fuzzy regulátor zareagoval na takýto priebeh oboch signálov rýchlosti (správneho i narušeného), lebo v tom momente neplatí základný predpoklad simulácie o konštantnej relatívnej chybe merania, ani z tohto predpokladu odvodené tvrdenia o tvare priebehu funkcie miery vierohodnosti a o tvare regulačnej plochy fuzzy komparátora, ani závery o kvalite fuzzy regulačného systému.

of the wheels' diameters. The vehicles without a target-braking regulator usually have diameters set with a low precision (we have detected few vehicles with an 8% difference from a real value of diameter). On the other hand, vehicles that are equipped with the target-braking regulator have the diameters set very precisely; in the other case the target-braking regulator won't work (from our practical experience, we can say that all 14 vehicles, which are currently equipped with the target-braking regulator, have the diameters set with precision better than 2 per mille).

The accurate, quick and first-rate (in sense of possibility of being derived to obtain the signal of real acceleration) speed measuring is a necessary condition for building a quality speed regulator. The usual methods of speed measuring, based on time measuring between two sensor pulses or on the counting of sensor pulses in certain time, or simple combination of these basic methods do not fulfill these requirements. That is why a totally new approach to the pulse processing of speed sensors (of course conventional), has been used in all our applications. Unfortunately, its description would exceed the frame of this article.

The speed sensors have, in some periods (typically after a hard rain or after passing a washing machine), a very low reliability, but after few hours these failures disappear. These random failures distort the value of real speed. Alike a speed jump, the slip or the skid of the wheel would be displayed. That is why speed measuring must be done on the most possible number of axles to eliminate the above-mentioned random failures. In some applications a so-called fictive axle is used for elimination of synchronous slips and skids. All our applications of speed regulators use the speed signals of all accessible speed sensors.

The problem of speed measuring accuracy is discussed in [1]. Unfortunately, the conclusions of this article are at variance with the results of work of our conventional regulators, which we have stated. First, the consideration about the use of two sensors, one on a traction engine and the other on a driven axle, is wrong because both of these elements are mechanically coupled and their speeds are proportional. Secondly, it is not true (as we shall demonstrate next) that it is necessary to use fuzzy logic to solve of this problem. Next, the simulation model differs from a real course: during the target braking the time course of speed is not an exponential one, but a linear one with parabolic transient processes; the failure state seldom uses a constant, but it shows random changes, i.e., the relative error of speed measuring fluctuates in a wide range. It is a question of how would this fuzzy regulator react on a real course of both signals (right and distorted) because the initial premise of simulation – the constant relative error of measuring – is not fulfilled and also, the deduced assertions about the figure of the credibility curve, about the figure of regulating area as so as the conclusions about the quality of fuzzy regulator, are not valid.

The authors also count on a 5 % relative error of speed measuring in regard to the conventional regulator and on the basis of that value they compare a fuzzy and conventional regulator. As we have said, there was a 2 per mille relative error of speed mea-

V [1] sa ďalej uvažuje s 5 % chybou merania rýchlosti konvenčného regulátora a na základe tejto hodnoty porovnávajú fuzzy a konvenčný regulátor. Ako však bolo uvedené, chyba merania rýchlosti pri vozidlách opatrených cieľovým brzdením je asi 2 promile, teda cca 25x menšia ako uvádzajú autori. Regulátor, ktorý by meral rýchlosť a následne dráhu s presnosťou 5 % by bol v praxi nepoužiteľný.

Záver [1] tiež nie sú pravdivé: v prípade odchýlky merania rýchlosti medzi jednotlivými kanálmi nie je možné začať skúmať vierohodnosť údajov jednotlivých kanálov (naviac so značným časovým oneskorením), avšak bezpodmienečne nutné je konať bezpečným spôsobom – v prípade brzdzenia vybrať najrýchlejšiu nápravu (t. j. presne opačne, ako sa zachová navrhovaný fuzzy regulátor, ktorý prisúdil pravdivý údaj pomalšiemu kanálu). V opačnom prípade hrozí reálne nebezpečie prebehnutia cieľa, zatiaľ čo nedobehnutie do cieľa nie je z hľadiska bezpečnosti problémom. Aby bola vec komplikovanejšia, pri jazde ťahom sa za vierohodný údaj považuje údaj najpomalšieho kanála. Je to spôsobené tým, že pri jazde ťahom dochádza ku sklzu, t. j. k poruchovému nárastu rýchlosti jednej (či viacerých) náprav, zatiaľ čo pri brzdení dochádza ku šmyku, t. j. k poruchovému spomaleniu náprav. V oboch prípadoch sa však uvažuje o správnom meraní rýchlosti. Naviac, ak sa pri odchýlke rýchlosti jedného kanála od zvyšných troch (tu vidieť výhodu merania rýchlosti na všetkých nápravách vozidla) väčšej ako určitej prekročí vopred určená medza, považuje sa tento kanál za nefunkčný (chybou vlastného snímača a príslušných vstupných obvodov) a rušňovodič má povinnosť tento kanál z merania vyradiť. Aj keď posledná veta môže byť aplikovaná iba na regulátory merajúce rýchlosť na viacerých nápravách ako na dvoch, predchádzajúce vety sú platné aj pri iba dvojkanálovom meraní rýchlosti.

Pri akejkolvek poruche merania rýchlosti je však nevyhnutné ju ihneď rušňovodičovi indikovať a ponechať na jeho vôľu rozhodnutie o ďalšom postupe, lebo za priebeh jazdy je zodpovedný on.

S tým súvisí ďalší omyl [1] – arbitrážny význam signálu o vierohodnosti meranej rýchlosti. Registračné a zabezpečovacie zariadenia prechádzajú dôsledným schvaľovacím procesom, v priebehu ktorého sa robí analýza všetkých programových blokov. Pre programovanie sú schválené iba prekladače určitých jazykov a nepripúšťajú sa akékoľvek funkcie so zníženou transparentnosťou [12]. Nezdá sa preto pravdepodobné, že by do tejto citlivej oblasti bola vpustená fuzzy logika.

Na začiatku článku spomínané nekorektné porovnanie vlastností je možné dokladovať napr. v [2]. Pri podrobnom skúmaní výsledkov však dochádzame k zaujímavým záverom:

Napr. pri porovnaní dynamiky navádzania na nízku rýchlosť vidieť podstatne horšie správanie konvenčného regulátora oproti fuzzy. Pri podrobnom pohľade však zistíme, že fuzzy regulátor navádzal vozidlo na rýchlosť 5 km/h, zatiaľ čo konvenčný na rýchlosť 3 km/h. Vzhľadom na všeobecný problém merania malých rýchlostí bežnými snímačmi je tento rozdiel veľmi podstatný a porovnanie preto nekorektné. Ďalej sa píše, že v prípade prázdnej súpravy sa oba regulátory správali rovnako, ale pri súprave s cestujúcimi si fuzzy regulátor viedol podstatne lepšie ako kon-

suring on vehicles equipped with the target-braking regulator. That is 25 times less than the authors say. The target-braking regulator, which would measure speed and consequently also distance with 5 % accuracy, would be unusable in practice.

Not even the conclusions of the article are true: in regard to the difference between the channels of speed measuring, it is not possible to start examining the credibility of channels (on the top, with a great delay), but it is unconditionally necessary to behave in a safe way – in regard to braking to choose the quicker (or the most quick) axle (i.e. just in the opposite way than the proposed fuzzy regulator does, it adjudicates the true value to slower channel). Otherwise there is a real danger of passing the target while stopping short of target is not a safety problem. To make the problem a bit complicated, during the running with traction, the value from a slower channel is taken as credible. This is caused by slips, i.e. failure increase of speed of one (or more) axles, while at braking skidding can occur, i. e. failure sinking of speed. In both cases, the right speed of measuring is considered. To make the problem more complicated, if one channel has a great difference from the others (the advantage of measuring on three or four axles is clearly seen here), it is considered as non-functional (by failure of sensor, cabling or respective input circuits). In such cases, the driver is obliged to switch this channel out of measuring. Although the last sentences can be applied only on regulators with three- or four-axle speed measuring, the previous sentences are valid also for two-axle speed measuring.

If any failure occurs, it is necessary to inform the driver immediately and let him decide about the next procedures because he is responsible for the course of running.

With this, the next authors' error is connected – the arbitrary meaning of the speed measuring credibility rate signal. The recording and train protecting devices must pass consequential validating process, during which the analysis of all program blocks is made. Only some programming languages are allowed. Any functions with decreased transparency are forbidden. It doesn't seem probable to admit fuzzy logic into this sensitive domain.

An incorrect comparison of features in the beginning of the article was noticed. We can demonstrate it for example in [2]. When we analyze the results in details, interesting conclusions occur.

For example, the comparison of achieving low speeds displays the worse behavior of conventional regulator than of the fuzzy one. During the detailed look, we find out that the fuzzy regulator has to reach the speed of 5 km/h, while the conventional one has to reach the speed of 3 km/h. With respect to common problems of measuring low speed by normal sensors, the difference is very essential and hence the comparison is incorrect. Next, we find that both regulators have the same behavior in the case of empty trains, but with full trains, the fuzzy regulator behaves better than the conventional one and was less sensitive to the accurate setting of train mass. We notice that our conventional regulators (both speed and target braking and both railway and underground) need



venčný a bol menej citlivý na správne zadanú hmotnosť súpravy. K tomu poznamenávame, že všetky naše regulátory, či už rýchlosti alebo cieľového brzdenia, sa bez nastavovania hmotnosti súpravy celkom zaobídu, a to tak v metre, ako aj na železnici. Citlivosť na hmotnosť súpravy je nulová a teda oveľa menšia než akákoľvek nenulová citlivosť fuzzy regulátora. Tvrdenie odporuje aj empirii – dlhší vlak sa správa lepšie ako krátky.

Preto konštatujeme, že nás uvedené články nepresvedčili o vhodnosti a už vôbec nie o nutnosti riešiť regulátor rýchlosti či regulátor cieľového brzdenia fuzzy logikou. V žiadnom parametri sa totiž zatiaľ ani zďaleka nepribližujú našim prevádzkovaným regulátorom konvenčným. Máme pocit, že ten, kto problém regulácie rýchlosti či cieľového brzdenia plne pochopil do všetkých detailov nielen teoretických, ale aj praktických, je schopný vytvoriť kvalitný regulátor konvenčný, a že fuzzy regulácia je v tomto odvetví snáď módnou záležitosťou. Žiaľ, záležitosťou podporovanou silnými výrobcami softvérových nástrojov a tiež obecným úpadkom kvality programátorov. Preto jestvuje reálne nebezpečenstvo, že obchodná politika zvíťazí nad technickým riešením, čo sa už viac ráz (nielen na železnici) stalo.

no setting of the train mass. Therefore, their sense to train mass is zero, which is much less than any non-zero value. The facts written in the article also contradict our experience: it is easier to control a longer and heavier train than a shorter and lighter one.

This is why we can only state that the mentioned articles did not convince us either of suitability or, by no means, necessity of using the fuzzy logic for solving the speed or target-braking regulator. By far, they did not approach our daily used conventional regulators in any parameter. The conviction that somebody who fully understands all the problems of speed or target-braking regulation, in all details both theoretical and practical, makes it possible to design a first-rate conventional regulator, grows stronger and stronger in our minds. Fuzzy logic is only a mode affair in this branch. Unfortunately, a mode affair supported by strong manufacturers of software tools and also by common degeneration of the quality of programmers, so a real danger exists in that the market policy would win over technological solutions, which has happened many times (not only by railway).

## Literatúra – References

- [1] SPALEK, J; MOLNÁROVÁ, M.: *Použitie fuzzy logiky v riadení kritických procesov*, Komunikácie vol. 1, no. 1, 1999; p. 13–17
- [2] VOIT, F., VOSS, H. J; SCHNIEDER, E.; PRIEBE, O.: *Fuzzy Control versus konventionelle Regelung am Beispiel der Metro Mialand*, Automatisierungstechnik vol. 42, no. 9; Sept. 1994; p. 400–10
- [3] PRIEBE, O.; SCHAPER, B.; VOSS, H. J.: *Automatic Train Operation LZB700 – Eine leistungsfähige Steuerung fuer den Nahverkehr mit Fuzzy Control*, Elektrotechnische Rundschau. vol. 43, no. 1–2, Jan.-Feb. 1994; p. 63–70
- [4] FENG, XIAOYUN; JIA, JUNBO; LI, ZHI: *The research of fuzzy predicting and its application in train's automatic control*, Proceedings 2000 International Workshop on Autonomous Decentralized System (Cat. No. 00EX449). IEEE Comput. Soc, Los Alamitos, USA; 2000; xiv+241 pp., p. 82–86
- [5] SEUNGSOO-LEE; JONGKYOU-KIM; HYUNG-LEE-KWANG: *Adaptive subway regulation based on fuzzy control*, Journal-of-KISS(B)-(Software-and-Applications). vol. 25, no. 12; Dec. 1998; p. 1797–1804
- [6] KHANBAGHI, M.; MALHAME, RP.: *Reducing travel energy costs for a subway train via fuzzy logic controls*, Proceedings of the 1994 IEEE International Symposium on Intelligent Control (Cat. No. 94CH3453-8). IEEE, New York, USA; 1994; 387 pp., p. 99–104
- [7] OSHIMA, H.; ARAI, T.; KAWAHATA, S.: *Computer control systems for the Sendai subway* Hitachi-Review. vol. 37, no. 6; Dec. 1988; p. 385–392
- [8] CHENG, HUA-CHANG; LI, MIN-JIA; NING, SHOU-XU; XI, DI-ZHANG: *The application of fuzzy control to automatic train operation*
- [9] GERTLER, J. J.; CRUZ, J. B. – JR.; PESHKIN, M., MASTEN, M., MITCHELL, J. R., PERRIN, J. P.; MOHLEJI, S. C.: *Proceedings of the 13th World Congress, International Federation of Automatic Control*. Vol. P. Aerospace, Transportation Systems. Pergamon, Oxford, UK; 1997; x+378 pp., p. 349–354
- [10] SHIUH, JER-HUANG; SHANG, LIN-HER: *Fuzzy control of automatic train operation system* International-Journal-of-Modelling-and-Simulation. vol. 17, no. 2; 1997; p. 143–150
- [11] YASUNOBU, S.: *A fuzzy control for train operation*, Systems-and-Control. vol. 32, no. 11; Nov. 1988; p. 629–636
- [12] prEN 50128 Railway applications – Software for railway control and protection systems, final draft, July 1998