

Petr Cenek *

PROBLÉMY A METÓDY RIADENIA DOPRAVNÝCH SYSTÉMOV

PROBLEMS AND METHODS OF CONTROL IN TRANSPORTATION SYSTEMS

Základnou myšlienkou článku je ukázať rôzne problémy riadenia v dopravných systémoch a potrebu dostupnosti vhodných informačných zdrojov. V článku je ukázaná dôležitosť dopravy a jej význam v modernej spoločnosti. Ďalej je popísaný model dopravného systému, optimalizačné úlohy a metódy ich riešenia. Potreba všeobecného modelu ako aj štandardizácie údajov o dopravnej infraštruktúre a štatistických údajov o dopravných tokoch je zdôraznená ako základný predpoklad pre optimálne riadenie každého procesu v dopravných systémoch.

1. Úvod

Pre kvalifikované rozhodnutia pri riadení systémov potrebujeme poznať informácie o stave systému, popis správania sa systému a mať vhodné metódy pre jeho riadenie. V súčasnej dobe sa pre podporu rozhodovania používajú informačné systémy, ktoré využívajú prostriedky výpočtovej techniky a ktorých úlohou je poskytovať presné, úplné a aktuálne informácie. Systémy na podporu rozhodovania dovoľujú modelovať správanie sa riadených systémov a navrhovať ich optimálne riadenie. S rozvojom osobných počítačov a počítačových sietí sa tieto informačné technológie stávajú dostupné prakticky každému a preto môžu byť masovo využívané v riadení. Väčšina podnikov alebo podnikateľov pritom potrebuje predovšetkým zaviesť poriadok a rutinné spracovanie všetkých svojich informačných agend, zatiaľ čo priame riadenie technologických procesov v reálnom čase je zatiaľ výsadou len niektorých vyspelých prevádzok.

Podobná situácia je i v doprave, aj keď pre dopravu bude asi práca s informáciami ešte významnejšia a priame riadenie procesov v reálnom čase zatiaľ ešte menej používané než vo výrobných podnikoch. I v doprave však môžeme nasadenie systémov pre priame riadenie technologických procesov očakávať v blízkej budúcnosti a niektoré systémy sa už bežne zavádzajú do prevádzky (palubné počítače na moderných trakčných vozidlách, automatizácia prvkov zabezpečovacej techniky pre riadenie prevádzky v stanici a na traťových úsekoch, riadenie práce na zväznom pahorku a pod.). Príspevok sa bude zaoberať skôr súčasným stavom riadenia na vyšších úrovniach riadenia (manažerské alebo dispečerské riadenie), na ktorých sa používajú informačné systémy a systémy pre podporu rozhodovania.

The basic idea of the article is to show various problems of control and management in transportation systems and the necessity of an available information support. The importance of transportation and some ideas on its significance for a modern society is reflected in the paper. The model of a transportation system is further described together with some optimisation problems and methods how to solve them. The necessity of a generalisation of a data model and standardisation of data on the transportation infrastructure as well as statistical data on transportation flows is stressed as a basic need for any exact method of control in transportation systems

1. Introduction

The information about a state of a system, description of its behaviour and suitable methods for its control are vital for any qualified decision in control and management of systems in general. Nowadays, decision support systems use information systems based on computers, which should provide accurate, complete and actual information. Decision support systems use models of behaviour of controlled systems and allow designing optimal control of those systems. The information technologies have become widely available for virtually anybody with a growing use of personal computers and computer networks, so they can be used in control systems on a mass scope. Routine data processing and information systems are currently typical applications for a majority of enterprises and entrepreneurs while a direct on-line control of technological processes in real-time is usually only exclusivity in a few advanced industrial plants.

The situation in transports is similar. For transportation companies the data processing is probably even more important, and a direct control of processes in a real-time is even less frequent than in industrial plants. Nevertheless, the installation of direct control systems for technological processes in transports is expected in the near future. Some systems have already been put into operation (as board computers on modern traction vehicles, automation of parts of interlocking systems for control of operations in a railway stations and on some railway lines, control of processes on a hump, etc). The paper will be concerned more with the current state of control on higher levels of management (managerial or dispatcher control), which uses information and decision support systems.

* Prof. Ing. Petr Cenek, CSc.

Faculty of Management Science and Informatics, University of Žilina, Veľký Diel, SK-01026 Žilina, Slovak Republic

Skôr ako sa budeme venovať vlastnej odbornej problematike, môžeme sa zamyslieť nad charakteristickými vlastnosťami dopravy, z ktorých potom budeme odvodzovať požiadavky na riadenie a budovať podľa nich model dopravného systému.

Doprava je služba, ktorá zabezpečuje premiestnenie cestujúcich alebo zásielok z východiskového miesta do miesta určenia v požadovanom čase a kvalite. Podrobnejším pohľadom na uvedenú definíciu dopravy a na jej ďalšie vlastnosti ukážeme význam dopravy v každodennom živote a nevyhnutnosť účasti štátnej správy na plánovaní a riadení dopravných systémov.

Typickým znakom dopravy je jej *geografická rozľahlosť*, čo znamená, že neprebíha na súkromnom uzavretom priestore, ale obyčajne na väčšom priestore na komunikáciách, ktoré sú spravidla vybudované na verejných pozemkoch. Doprava je teda *verejne prístupná služba* a dopravnú infraštruktúru (napríklad cesty alebo ulice) môže využívať aj široká verejnosť.

Ďalšou významnou vlastnosťou dopravy je *hromadnosť*, ktorej účelom je dosiahnuť ciele dopravného procesu (t. j. premiestnenia v požadovanom čase a kvalite) pri vynaložení čo najmenších nákladov. V tomto zmysle môžeme hromadnosť považovať za typickú vlastnosť dopravných systémov a to tak z hľadiska súčasnej prepravy viacerých zásielok naraz, ako aj z hľadiska opakovaného využitia určitého prostriedku v čase.

Poslednou vlastnosťou, ktorú môžeme považovať za charakteristickú pre všetky dopravné systémy, je *riziko* (nebezpečie alebo náklady na dopravu), ktoré treba posudzovať v širšom význame. Pretože doprava je verejnou službou, môže byť nielen využívaná verejnosťou ako zákazníkmi, ale ovplyvňuje tiež život celej verejnosti bez ohľadu na to, či dopravné služby využíva alebo nie. Dopravné nehody ohrozujú zdravie a životy občanov, množstvo faktorov však ovplyvňuje životy občanov i nepriamo a dlhodobou. Ide napríklad o vplyvy na životné prostredie, kde produkcia hluku a škodlivých splođín nepriaznivo ovplyvňuje kvalitu života. Ďalším nepriaznivým vplyvom je záber pozemkov pre výstavbu dopravných komunikácií a i v tomto prípade sa zhoršuje životné prostredie, dokonca v dlhodobom horizonte, pretože výstavba komunikácií vážne znehodnocuje kvalitu pozemkov použitých pre vybudovanie komunikácie i pozemkov v širšom okolí komunikácie a natrvalo narúša celý ráz krajiny.

Ako sme ukázali, doprava má verejný charakter, a zasahuje prakticky každého občana tak ponukou svojich služieb ako aj rizikom, ktoré je s dopravou nevyhnutne spojené a ktoré zhoršuje kvalitu jeho života. Na doprave sa aktívne zúčastňujú jednotliví občania ako súkromné osoby a podnikajú v nej súkromné dopravné firmy. Súčasne sa však na rozvoj dopravných systémov (najmä v oblasti infraštruktúry) vynakladá množstvo štátnych prostriedkov a existuje preto aj celospoločenský záujem tieto prostriedky využívať čo najúčelnejšie. Preto môžeme rozlíšiť potrebu riadenia v dopravných podnikoch (resp. riadenia jednotlivých dopravných činností) a riadenie na úrovni orgánov štátnej správy, ktorá rozhoduje o pridelovaní dostupných zdrojov a stará sa o udržanie prijateľného kompromisu medzi prínosmi a rizikami dopravy.

Before control problems are described, the characteristics of transportation systems should be discussed. Further specifications of a control system should be derived according to which a model of a transportation system will be built.

Transportation is a service, which should ensure displacement of passengers or goods from their original place to a destination in a demanded time and with appropriate quality. A more detailed view of this transportation definition and its characteristics will show the importance of transportation in our everyday life and the necessity of public administration involvement in planning and management of transportation systems.

Transportation is typically *geographically widespread*, which means, that it does not work in a private, closed space, but usually, on a wider space such as roads, which are usually built on public grounds. It means that transportation is a *public service* and the transportation infrastructure (as roads or streets) can be used in public.

Another important characteristic of transportation is a "*mass production*", which aims at attaining goals of the transportation process (a displacement in a demanded time and quality) with minimal costs. Mass processing can be thought of as a typical characteristic of transportation systems from the point of view of simultaneous displacement of many items at a time and from a repeated use of transportation facilities in time.

The last characteristic, which can be found as an important one for all transportation systems, is a *risk* (the danger or costs of transportation), which should be handled in a broader sense. Transportation is a public service, which means that it can be utilised not only by the public as customers, but it influences the lives of the whole community whether they utilise or to not utilise its services. Transportation accidents endanger the health and lives of citizens, but many factors act on people in an indirect and long-lasting way. This includes harmful environmental effects as a production of noise or exhalations, which degrade the quality of life. Further, the land use for building transport facilities should be mentioned because transportation endangers the environment and its effects are long-lasting. The building of transportation roads worsens the quality of land used for roads. The quality of land in a broader stripe along the road is deteriorated and the character of countryside is permanently changed.

As shown, transportation is a public service and influences practically everyone by its services as well as by risk, which is unavoidably joined to transportation and degrades the quality of life in general. Individuals take part in traffic on roads, and private companies use public roads to provide transportation services. Large amounts of public funds are spent on transportation systems development (especially on building the infrastructure); therefore, there is public interest in using these funds as effectively as possible. That is why it is necessary to distinguish the problems of management in transportation companies (or management of individual transportation processes) and management on a level of public administration. The public administration decides on allocation of available funds and cares about attaining an acceptable compromise between gains and risks of transportation services.

V súčasnej dobe prebieha privatizácia v mnohých oblastiach hospodárstva a pripravuje sa alebo prebieha aj privatizácia štátnych podnikov v doprave. Pretože po privatizácii budú mať prirodzene jednotlivé podniky záujem predovšetkým na ziskovom hospodárení z pohľadu firmy, mala by sa privatizácia dopravných podnikov posudzovať aj z pohľadu celospoločenských potrieb a štát by si mal v každom prípade ponechať určité právomoci a prostriedky pre presadzovanie týchto záujmov v doprave.

Prostriedky, ktorými môže štátna správa radíť rozvoj a prevádzku dopravných systémov, je možné rozdeliť na:

- *legislatívne*, ktorými je nariaďované a vynucovaním požadované správanie sa zúčastnených subjektov v doprave,
- *ekonomické* (finančné), ktorými sú podporované spoločensky potrebné činnosti.

Pre ďalšie časti článku sa zrejme obmedzíme len na možnosti minimalizácie nákladov na realizáciu dopravného procesu a optimalizáciu kvality a prínosu dopravných služieb pre občana.

Zásahy do riadenia dopravných systémov môžeme ešte posúdiť z pohľadu delenia dopravného systému na pevnú časť (infraštruktúru) a pohyblivú časť (dopravné prostriedky, resp. dopravné prúdy) a môžeme teda robiť zásahy v oblasti:

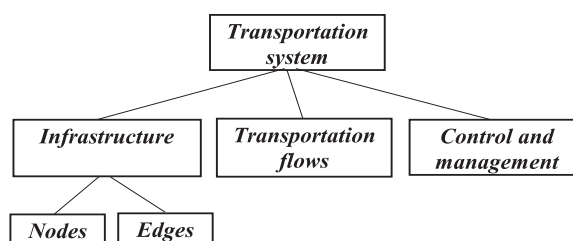
- *budovania a údržby dopravných infraštruktúr* a riadenia prevádzky na verejných komunikáciách,
- *organizácie a riadenia* premiestňovacích procesov na technologickej úrovni,
- *zriaďovania a prevádzkovania verejných dopravných služieb*.

Informatika a optimalizačné metódy sa zrejme uplatnia vo všetkých uvedených oblastiach. Potenciálnymi zákazníkmi pre použitie týchto prostriedkov budú orgány štátnej správy pre strategické rozhodnutia v oblasti budovania, údržby a prevádzkovania infraštruktúry i pre zriaďovanie a prevádzkovanie služieb verejnej dopravy. Podnikatelia a dopravné podniky budú mať záujem o ich použitie na znižovanie svojich nákladov pri operatívnom riadení prevádzky.

2. Model dopravného systému a vstupné dáta

Cestujúci alebo prepravované zásielky budú v dávkach prepravované do požadovaného cieľa. Každá skupina alebo dávka bude prepravovaná pomocou určitého dopravného prostriedku. Vozidlá alebo iné dopravné prostriedky tvoria spolu s prepravovanými zásielkami pohyblivú časť dopravného systému, ktorú nazývame *dopravné prúdy*.

Dopravné prostriedky sa pohybujú po dopravných komunikáciách (po cestách, železničných tratiach, vodných cestách a pod.) Dopravné



Obr. 1. Členenie dopravného systému
Fig. 1. Transportation system

Many companies in various branches of industry are to be privatised in the near future and similarly some state-owned transportation companies should be privatised, too. After privatisation the companies will naturally follow their own interests in possibly profitable operations from their own points of view. That is why the privatisation of transportation companies should be judged with regard to public interests, and the public administration should retain some rights and tools to be able to enforce public interests in transportation.

The tools with which public administration can control development and operations of transportation systems can be divided into:

- *legal issues*, which define and enforce a desirable behaviour of all subjects that take part in transportation,
- *economic issues* (financial tools), by which generally desirable activities can be supported.

The further parts of the article will be concerned with possibilities of minimisation of costs spent on transportation processes and on optimisation of quality and profits from transportation services for citizens.

Moreover, the measures for control of transportation systems can be judged from a point of view of two parts of a transportation system: a fixed part (infrastructure) and a moving part (transportation vehicles or transportation flows). It means the control measures can be taken in:

- *building and maintenance of a transportation infrastructure* and control of traffic on public roads,
- *organisation and control* of transportation processes on a level of technological processes,
- *creating and operating public transportation services*.

Information technology and optimisation methods can be used in all of the mentioned parts. Potential users of those tools are public administration offices, which can use them for strategic decisions in development, maintenance and operations on a transportation infrastructure and for creating and operating public transportation services. Entrepreneurs and transportation companies will be interested to use those tools in a direct control of operations to decrease their operational costs.

2. Model of a transportation system and input data

Passengers and transported goods will be moved in batches to their desired destination. Every group or batch will be carried using a certain transportation vehicle. The vehicles or other transportation means together with transported goods create the moving part of a transportation system or *transportation flows*.

Transportation vehicles move along the transportation roads (as roads, railroads, waterways etc.) Transportation roads create

komunikácie tvoria pevnú časť (infraštruktúru) každého dopravného systému a nazývame ju *dopravná sieť*. Vybudovanie a údržba dopravných komunikácií sú základnou podmienkou funkcie každého dopravného systému, pretože umožňujú rýchlejšie a hospodárnejšie premiestňovanie vozidiel, ako keby sa každé vozidlo pohybovalo ľubovoľne po neupravenom teréne svojou vlastnou cestou. Dopravnú sieť môžeme ďalej deliť na uzly a úseky siete, ako je ukázané na obrázku 1.

2.1. Údaje o dopravnej sieti a GIS

Údaje o dopravnej sieti tvoria základ popisu každého dopravného systému. Dopravná sieť v mnohom pripomína graf ako ho poznáme z teórie grafov a pre niektoré úlohy je takáto predstava dostatočná. V dopravnom systéme však prebieha rad technologických činností, ktoré nie sú v teórii grafov uvažované a nemôžu tam preto byť modelované. Napríklad po úsekoch siete sa pohybujú vozidlá v dopravných prúdoch. Každé vozidlo resp. celý dopravný prúd sú popísané ako dynamické systémy a skúmanie ich správania je samostatnou problematikou. Podobne v uzloch siete dochádza k zhromažďovaniu a triedeniu zásielok a k ďalším technologickým činnostiam, ktoré treba modelovať.

Dopravná sieť bude vždy zadávaná svojou topológiou, t. j. svojimi uzlami a úsekmi, ktoré spájajú jednotlivé uzly siete. Vo väčšine aplikácií bude dôležitou informáciou aj popis grafického motívu úsekov, a preto je často výhodné použiť pre udržiavanie a zobrazovanie údajov o dopravných sieťach geografické informačné systémy (GIS). V GIS sú základnými údajovými prvkami grafické bodové, líniové a plošné objekty, ku ktorým môže byť priradený ľubovoľný počet alfanumerických atribútov. To zodpovedá potrebám modelovania dopravnej siete, keď napríklad každá cesta môže mať zadanú šírku, dĺžku medzi dvoma susednými križovatkami, maximálnu povolenú rýchlosť alebo kapacitu a pod. GIS ďalej dovoľuje (resp. je jeho základnou vlastnosťou) prácu so vzťahmi medzi jednotlivými prvkami, ktoré sú popísané topológiou siete.

V geografických informačných systémoch používame základné grafické prvky:

- *bod*, ktorý je definovaný svojimi súradnicami (x, y) v rovine,
- *čiara* (úsečka), ktorá slúži na spojenie dvoch bodov alebo *lomená čiara* na spojenie viacerých bodov v rovine,
- *plocha*, ktorá je ohraničená uzavretou krivkou alebo uzavretou lomenou čiarou.

Pre dopravný systém budú uzly reprezentované bodmi v GIS a úseky budú reprezentované čiarami alebo lomenými čiarami. Priradenie atribútov môže pre uzly siete znamenať napríklad mená uzlov alebo ich kapacitu, zadanie atribútov úsekov môže podobne slúžiť pre informácie o dĺžke úseku, jeho kapacite alebo pre číslo (pomenovanie) úseku. Viaceré GIS obsahujú aj procedúry pre riešenie niektorých optimalizačných úloh na sieťach ako je hľadanie ciest na sieti, umiestňovanie stredísk a pod.

a fixed part (infrastructure) of every transportation system or a *transportation network*. The building and maintenance of transportation roads is the basic condition for the functioning of any transportation system, because it allows faster and more effective motion of vehicles in comparison with a situation when every vehicle would move off-road its own way. A transportation network can be further divided to nodes and edges as shown in Fig. 1.

2.1. Data on transportation networks and G.I.S.

Data on a transportation network create a basis for the description of every transportation system. A transportation network seems to be the same structure as a graph known from the graph theory and for some problems this similarity can be utilised. But many diverse technological processes are to be run in transportation systems and these processes are not acceptable in a graph theory and cannot be processed there. For instance, vehicles move along the edges of a transportation network in transportation flows. Every vehicle and/or the whole transportation flow are described as a dynamical system, the behaviour of which is to be investigated as a problem by itself. Similarly, the transported items are accumulated and sorted in nodes of a network and these processes together with other technological activities are again to be modelled on transportation networks.

A transportation network will be defined by its topology, which means by its nodes and edges connecting the nodes of a network. Another important aspect in many applications is a graphical shape of edges and that is why it is suitable to use geographical information systems (GIS) to store and visualise the information on transportation networks. Basic data items in GIS are points, lines, and areas and any number of alphanumeric attributes can be assigned to each of those items. It complies with needs of a transportation network modelling when, for instance, every road can have assigned data on its width, length or capacity, etc. GIS further allow (or better to say it is a basic feature of those systems) using topological relations among elements of a transportation system. These relations are defined by topology of a network.

As mentioned, the basic graphical items used in geographical information systems are:

- *point*, defined by its X and Y co-ordinates in a plane,
- *line*, which defines a connection among two points or a *polyline* which is used for a connection of more points in a plane,
- *area*, defined by a closed curve or a closed polyline.

Points in GIS will represent nodes in transportation systems and lines or polylines will represent edges. The assignment of attributes for nodes of a network may be used (among others) for names of nodes or their capacity. The attributes of edges can similarly be used for information on its length, its capacity, its name or number. Many GIS offer some procedures for solving basic optimisation problems on networks such as finding paths on a network, location of centres, etc.

2.2. Údaje o dopravných prúdoch

Dopravné prúdy sú pre riadenie a plánovanie v doprave rovnako dôležité ako popis dopravnej siete. Dopravný systém by mal – pokiaľ možno – dobre plniť požiadavky zákazníkov a tento cieľ môžeme dosiahnuť len keď požiadavky zákazníkov poznáme. Požiadavky môžu byť kvantifikované zadaním intenzít dopravných prúdov. Podobne potrebujeme poznať intenzity dopravných prúdov aj pre kontrolu prevádzky a zaťaženia dopravných komunikácií.

Tiež skúmanie dynamického správania sa vozidiel v dopravných prúdoch a modelovanie prebiehajúcich technologických procesov pri spracovaní zásielok vyžadujú zadanie informácií o pohyblivých častiach dopravného systému. Údaje o dopravných prúdoch sú alfanumerické údaje, ktoré môžu byť pridelené ako atribúty úsekom siete alebo môžu byť určené pre každú reláciu medzi dvoma uzlami siete. Z hľadiska prípravy a spracovania informácií môžu byť takéto údaje spravované bežným databázovým systémom.

3. Prostriedky a metódy riadenia dopravných procesov

Riadenie v doprave má čiastočne odlišné požiadavky oproti riadeniu niektorých výrobných systémov. Budeme sa, samozrejme, usilovať riadiť dopravný systém tak, aby sme optimálne využívali dostupné prostriedky a aby sme minimalizovali náklady vynaložené na realizáciu prepravného procesu. Prvotnou úlohou riadenia však bude (alebo by aspoň mala byť) bezpečnosť prevádzky. Už v úvode sme pripomenuli, že doprava je verejnou službou, prebieha na verejných priestoroch a dopravné nehody predstavujú vážne ohrozenie zdravia a životov občanov. Preto musí byť bezpečnosť premávky prvoradým cieľom a optimalizácia hospodárnosti prevádzky môže byť rešpektovaná až ako druhotný cieľ.

Bezpečnú prevádzku dopravných systémov sa snažíme zabezpečiť vytvorením legislatívneho rámca, ktorý núti účastníkov premávky správať sa tak, aby sa riziko ohrozenia ostatných účastníkov premávky aj celej verejnosti čo najviac znížilo. Pre hospodárne využívanie prostriedkov a minimalizáciu nákladov potom použijeme celý rad metód a postupov od intuitívneho ručného riadenia, cez riadenie s podporou počítača až po automatické riadenie počítačom.

V doprave bude prevažovať riadenie na úrovni spracovania informácií spravovaných v informačných systémoch. Údaje o dopravnej infraštruktúre pritom môžu slúžiť pre jednoduché úlohy ako je vyhľadávanie ciest na sieti, úlohy obchodného cestujúceho, lokácia a alokácia stredísk. S využitím údajov o dopravných prúdoch môžeme ďalej riešiť dopravnú úlohu a úlohu návrhu sietí. Modely uvedených úloh môžu byť využité v množstve praktických problémov ako je financovanie rozvoja dopravnej infraštruktúry a dopravných služieb alebo optimalizácia nákladov na realizáciu dopravného procesu.

Z hľadiska použitých postupov by sme ešte mohli pripomenúť, že optimalizáciu riadenia môžeme robiť najrôznejšími postupmi:

2.2. Data on transportation flows

Transportation flows are as important for control and management in transports as the data on a network infrastructure. A transportation system should serve customers and this goal can be fulfilled only if demands of customers are known. The demands can be quantified by intensities of transportation flows. These intensities must be known, also, for verifying traffic capacity and the level of exploitation of transportation roads.

The analysis of dynamical behaviour of vehicles in transportation flows and creation of models of technological processes in transportation systems demand information on moving parts of a transportation system. Data on transportation flows are alphanumerical data, which can be assigned as attributes to edges of a network or can be defined for each relation between two nodes of a network. Input and processing of data on transportation flows can thus be done using a commercial database system.

3. Control tools and methods for transportation processes

Control of transportation processes is slightly different from the control in production systems. A transportation system should be controlled so that the available resources will be used in an optimal way and the costs of transportation processes should be minimal similarly as in production systems. But the priority goal in a control of transportation systems must be (or at least should be) the safety of traffic. As mentioned in the introduction, transportation is a public service, it runs in a public accessible space and traffic accidents represent a serious danger for the health and lives of citizens. That is why traffic safety must be a priority goal, and any optimisation of efficiency of a system can be respected only as a secondary goal.

Safe traffic in transportation systems is to be attained by a suitable, legal frame, which enforces such behaviour of traffic participants that the risks of endangering other people involved directly in traffic or just passively using the public space will be as low as possible. The effective use of transportation means (roads and vehicles) and minimisation of transportation costs can be managed using a number of known methods and approaches from an intuitive control by a human operator and control with a decision support systems to a fully automatic control by computer.

A control on a level of processing information from information systems will be the prevailing type of control in transportation systems. Data on a transportation infrastructure can be used for simple tasks such as finding the shortest path in a network, travelling salesman problem or location of centres and allocation of demands to centres. Further problems, such as a transportation problem or a network design, can be solved using data on transportation flows (together with data on networks). Models of all those problems can be used for solving many different practical tasks such as optimal financing of development and maintenance of a transportation infrastructure, financing of public transportation services or optimisation of transportation processes costs.

From a point of view of used principles, it should be mentioned that optimal control can be achieved by various approaches:

- *ručné riadenie* sa v doterajšej praxi osvedčilo a má relatívne dobré výsledky, ktoré sú založené na dlhodobej skúsenosti riadiacich pracovníkov a na ich zodpovednosti; zavedenie počítačov dovoľuje túto vysoko kvalifikovanú a zodpovednú prácu postupne nahrádzať,
- *exaktné a heuristické optimalizačné metódy* dovoľujú preskúmať veľké množstvo alternatívnych riešení, ktoré by človek nedokázal vyhodnotiť v prijateľnom čase, obmedzením je neľahká formalizovateľnosť niektorých problémov, čo vedie k nutnému zjednodušeniu používaných modelov a z toho plynúcej nepresnosti výsledkov alebo nemožnosti riešenia problému optimalizačnými metódami,
- *interaktívne metódy* riešenia sú založené na spolupráci operátora s počítačom a dovoľujú tak odstrániť nedostatky predchádzajúcich dvoch postupov: poskytujú výpočtový výkon počítača a intuitívne schopnosti operátora, ktorý prípadne môže pri výbere riešenia uplatniť aj ďalšie neformalizovateľné podmienky,
- *simulačné metódy* sa používajú obyčajne pre skúmanie systémov so stochastickým správaním sa, t. j., že niektoré z činností majú náhodný charakter, môžeme simulovať dopravné systémy na rôznej úrovni podrobnosti popisu od hrubého modelu celého dopravného systému až po simuláciu dynamického správania sa jednotlivých vozidiel alebo dokonca len ich častí, veľmi atraktívna a užitočná je animácia simulovaného systému, ktorá dovoľí sledovať prebiehajúce činnosti na grafickom výstupe,
- *metódy umelej inteligencie* sa používajú tam, kde riadenie vyžaduje prehľadanie veľkého množstva možností vzájomne viazaných logickými podmienkami; metódy umelej inteligencie obyčajne nie sú veľmi efektívne pre číselné riešenie optimalizačných problémov, ale dokážu analyzovať množstvo podmienok riešení, ktoré môžu byť zadané pomerne jednoduchými deklaráciami pravidiel a faktov.

Existuje teda rad metód a postupov pre riešenie optimalizačných úloh, resp. úloh riadenia dopravných procesov. Pre každú úlohu potrebujeme kvalitné vstupné údaje, model riešenej úlohy a metódu riešenia. Údaje popisu dopravnej siete a dopravných prúdov sú obyčajne rozsiahle a preto sa treba snažiť o viacnásobné využitie získaných údajov, resp. vytvoreného modelu. Modely by teda mali byť univerzálne a dovoľovať riešenie pokiaľ možno všetkých úloh a pomocou všetkých uvedených postupov. Takáto požiadavka je, samozrejme, asi príliš striktná a príliš náročná, avšak môže slúžiť aspoň ako určitá idea, ktorú sa budeme snažiť uskutočniť.

Na záver by sme mohli ešte spomenúť, že veľká rôznorodosť nie je len v používaných metódach riešenia, ale môžeme ju ukázať aj na možnostiach praktického využitia a praktickej interpretácie uvedených úloh. Napríklad návrh sietí je asi najťažšou optimalizačnou úlohou, v ktorej hľadáme najlepší variant výstavby dopravnej siete tak, aby prepravné požiadavky medzi uzlami siete boli obslužené s minimálnymi nákladmi a rovnako náklady na výstavbu siete aby boli pokiaľ možno minimálne. Model úlohy návrhu sietí potom môžeme použiť pre rôzne praktické problémy ako sú:

- výstavba novej cesty alebo úseku cesty,
- prestavba cesty alebo traťového úseku pre zvýšenie jeho kapacity, technickej rýchlosti a pod.,

- *human operator control* is well established in contemporary systems and it works with good results, which are given by a long experience of operators and by their responsibility; the installation of computers gradually replaces this highly qualified and responsible jobs,
- *exact or heuristic optimisation methods* allow to evaluate a huge number of variant solutions, which would be impossible for a human operator; limits of this approach are set by the impossibility of a formal definition of some problems and conditions, which leads to a necessary simplification of used models and imperfection of attained results or to the impossibility of a problem solution by optimisation methods,
- *interactive methods* are based on a cooperation of a human operator with a computer system, in this way many shortages of the former approaches can be eliminated: the computer provides a sufficient performance, while a human operator will use his intuition and can choose a suitable solution with respects to further preconditions which can hardly be described formally.
- *simulation methods* are used usually to work with stochastic systems, which means with systems where activities have stochastic nature; transportation systems can be simulated on a different level of detail from a rough model of a whole transportation system to a detailed simulation of individual vehicles or their parts with a full description of their dynamic behaviour; very attractive and useful is a visualisation and animation of the simulated system, which allows to follow all the activities in a graphical output.
- *artificial intelligence methods* are used primarily in cases when control of a system demands looking through a vast number of combinations mutually joined by logical conditions; the methods of artificial intelligence are usually not suitable for numerical solution of optimisation problems, but they can analyse a number of conditions, which can be defined by a quite simple declarations of facts and rules.

So there are many methods and approaches to solving optimisation problems or control tasks in transportation systems. A correct input data, a model of a problem and some solving methods are necessary for any such task. Data sets on transportation networks, and on transportation flows are typically very large and that is why the data and models should be used repeatedly. The models should be generally usable and should allow the possibly all the problems to be solved using all of the mentioned approaches. This condition is, of course, rather ambitious and too difficult but can serve at least as an idea to be attained in the future.

Finally, it is to be mentioned that there is a great variety of approaches used for solving the problems, but there is also a variety of possible practical applications and practical interpretations of presented models. A network design, as an example, is the most difficult optimisation problem, in which the best configuration of a network is to be designed so that the total costs of building the network together with costs of serving transportation demands will be minimal. Various practical tasks can be derived from the theoretical description of a network design problem:

- construction of a new road(s) or a part of a road;
- reconstruction of a road(s) or a railroad(s) to increase its capacity, technical speed etc.;

- zavedenie novej verejnej dopravnej služby (autobusovej linky, vlakového spoja).

4. Záver

Riadenie dopravy je z veľkej časti závislé od spracovania informácií, ktoré sa v minulosti robilo ručne, zatiaľ čo dnes sa už väčšina informácií spravuje a spracováva rutinne na počítačoch. To umožňuje zavádzať do riadenia dopravy exaktné metódy, ktoré môžu pomocou vhodných optimalizačných algoritmov, simulačných metód, interaktívnych systémov alebo prostriedkami umelej inteligencie navrhovať optimalizované riešenia úloh riadenia.

Pre širšie uplatnenie týchto metód treba nielen vyvinúť potrebné prostriedky, ale tiež ich praktické využívanie zabezpečiť vhodnými organizačnými opatreniami. Jedným z problémov je pomerne zlá preukázateľnosť prínosov zo zavedenia kvalitnejších metód riadenia a z toho plynúca pretrvávajúca spokojnosť so súčasným stavom. Druhým vážnym problémom je špatná dostupnosť vstupných údajov, ktoré sú nevyhnutným predpokladom pre kvalitné riadenie. Vo vyspelých štátoch sú údaje o dopravnej infraštruktúre ľahko dostupné (v USA úplne zdarma, v Nemecku za mierne poplatky) vo forme digitalizovaných máp, prípadne vektorových vrstiev pre dopravné komunikácie. Rovnako údaje o intenzitách dopravných prúdov sú sledované štátnymi orgánmi a sú k dispozícii záujemcom ako výstup práce štátnych štatistických úradov.

V našich podmienkach sa, žiaľ, uvedené údaje vôbec nespracúvajú alebo ich poskytujú rôzne organizácie za pomerne vysoké ceny pri (podľa našich doterajších skúseností) veľmi zlej kvalite týchto údajov. Navyše sú mnohí užívatelia nútení vytvárať si svoje vlastné súbory vstupných dát, preto sa táto práca i v našich skromných podmienkach robí duplicitne a samozrejme, že i kvalita týchto dát je poplatná ich jednorázovému alebo len špecializovanému určeniu pre riešenie určitej úlohy.

Aspoň na úrovni vysokej školy sa preto snažíme o výstavbu jednotného modelu dopravného systému, ktorý by bol použiteľný pre rôzne aplikácie a používal by štandardné vstupné údaje.

- introduction of a new public transportation service(s) (bus line, train).

4. Conclusions

Control and management of transportation systems are greatly dependent on data processing, which was originally done by hand while nowadays the major part of information is maintained and processed in computers. It allows exact control methods to be introduced in transportation and with a help of suitable optimisation algorithms, simulation methods, interactive systems or tools of artificial intelligence to design optimised control strategies.

A further application of these methods demands not only to develop necessary tools, but also to enforce their use by suitable organisational measures. One of the problems is that gains from a better control of a system are difficult to be proved, and thus a general satisfaction with the current situation survives. Another serious problem is poor accessibility of input data, which are necessary for a quality control. In developed countries (in U.S.A. free of charge, in Germany for an affordable price) anybody can get data on transportation infrastructure in a form of digital maps or possibly as a vector description of transportation infrastructures. In the same way, the data on transportation flows are collected by state agencies and are available for users as a result of a state bureau of statistics.

In our countries the data are not available or are offered by private companies for excessive prices and of inferior data quality (according to our experience). Moreover, many users have to collect their own input data files, which means that the same work is done several times and of course also the quality of the data corresponds to their one time or specialised use for a solution of a special problem.

That is why we are trying at least at the university level to build a unified model of a transportation system, which would be usable for various applications and would use standard data sets.

Literatúra - References

- [1] CENEK, P., KLIMA, V., JANÁČEK, J.: *Optimisation of transportation and postal processes.* (in Czech). Edičné stredisko VŠDS, Žilina, 1994
- [2] JANÁČEK, J.: *Mathematical programming.* (in Czech) EDIS ŽU, Žilina 1999
- [3] JÁNOŠÍKOVÁ, L.: *An adaptation of the tabu search metaheuristic to the problem of transportation planning.* In: Preprints of the "IFAC/IFIP/IFORS Symposium - Transportation systems", Technical University of Crete, Chania, Greece, 1997, pp. 765-768, vol. 2
- [4] KAVIČKA, A., JÁNOŠÍKOVÁ, L.: *Modelling of a railyard and finding the shortest path.* In: *Komunikácie, Scientific Letters of the University of Žilina*, No. 2, Žilina 1999, pp. 9-21