

Metody identifikace slabých článků sítí a jejich využití při ochraně obyvatelstva

Methods for Identifying Weak Links in Networks and their Application to Protecting the Population

RNDr. Michal Bíl, Ph.D.

RNDr. Rostislav Vodák, Ph.D., Mgr. Jan Kubeček,

Mgr. Zbyněk Janoška, Mgr. Jiří Sedoník,

Mgr. Richard Andrášik, Mgr. Martina Bílová

Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

michal.bil@cdv.cz

Abstrakt

Každá společenská událost, při které se shromáždí větší množství osob, představuje potenciální dopravní problém. Obvykle platí, že komunikace v blízkosti místa konání jsou na krátký čas přetížené nebo alespoň na hranici svých kapacit. Dopravní poptávka v tomto období převyšuje své běžné hodnoty, zatímco dopravní nabídka zůstává stejná. Vzniká tak nebezpečná nerovnováha, kdy každý incident (pokles dopravní nabídky) může způsobit kolaps dopravy a následný chaos. Metody síťové analýzy jsou schopny identifikovat slabé články dopravního systému v předstihu. Díky tomu si můžeme připravit pro případ přerušení nebo snížení kapacity vybraných úseků sadu scénářů. Tyto metody lze využít nejenom při hodnocení dopravní sítě pro motorová vozidla v okolí konání akce, ale také pro sítě linek MHD nebo pro systém cest a chodeb v rámci budov.

Klíčová slova

Silniční síť, zranitelnost, slabé úseky, modelování, kritické úseky.

Abstract

Every social event attended by large groups of people poses a potential transport complication. Roads are overloaded during such events with traffic or are at least close to their maximum capacity. The traffic demand rises above its normal values, whereas the traffic supply remains constant. Hence, a dangerous imbalance emerges. Each incident within the road network may consequently cause a traffic collapse and consequent chaos. Methods for network analysis are able to identify those weak road links in advance. We are therefore able to prepare a set of scenarios for cases of road disruption or road capacity decreases. These methods can not only be applied to the assessment of a road network surrounding a planned event, but also to a public transport system or even to a system of corridors inside a building.

Keywords

Road network, vulnerability, weak links, modelling, critical segments.

Úvod

Silniční síť není pouze množina komunikací a jejich spojení, v podobě křižovek, ale jde o komplexní systém (k problematice komplexní sítě viz např. Barabási 2005 nebo Newman, 2010). V síťovém prostředí se tudíž nestačí zaměřit pouze na jednu hranu, zde silnici, ale je nutné sledovat dopady jejího poškození (a tím spíše přerušení) ve zbytku sítě, kam se mohou šířit (Jenelius et al., 2006). V posledních přibližně dvaceti letech se problematika zajištění plynulého provozu v silniční síti dostává stále více do popředí zájmu (např. Berdica, 2002). Je to způsobeno mimo jiné tím, že je k dispozici stále vyšší výkon počítačů, a proto již není výjimkou, že

se lze setkat s projekty modelujícími dopady současného přerušení několika silnic v rámci regionálních sítí (Sohn, 2006; Matisziw et al., 2009; Jenelius, 2010).

V tomto příspěvku jsme si vzali za cíl stručně představit postupy identifikace nejslabších článků sítí, což jsou úseky, jejichž úplné nebo částečné přerušení bude mít největší negativní dopad na celou síť. Pro jednoduchost bereme do úvahy pouze automobilovou dopravu a neuvažujeme změny ve volbě dopravního prostředku.

Dostupná data

Pro modelování zvýšené dopravní poptávky nebo dopadů přerušení úseku silniční sítě jsou potřeba data o topologii a geometrii silniční sítě, kapacitě komunikací (dopravní nabídka) a také ostatní údaje, které souvisejí s dopravní poptávkou. K tomu lze využít například údajů SLDB o počtech vyjíždějících za prací. K dispozici jsou data silniční sítě ČR z databáze Silniční databanky Ostrava a podrobnější data obsahující uliční síť (StreetNet od CEDA), dále intenzity dopravy na úsecích silniční sítě, které pocházejí z Celostátního sčítání dopravy v roce 2010, kapacity úseků silniční sítě, databázi dopravních nehod a aktuální data o přerušení dopravy (databáze JSDI). Mimo tyto zdroje lze rovněž využít data o plynulostech dopravy, která jsou založena na sledování pohybu flotil vozidel, případně SIM karet vlastníků mobilních zařízení. Přestože vztah mezi plynulostí a intenzitou dopravy není jednoznačně stanoven, lze pomocí vhodně umístěných dopravních radarů tuto závislost zpřesnit.

Dopravní rizika v případě hromadných společenských akcí

Na místo konání společenské události, se musí lidé nějakým způsobem dopravit. Pokud se jedná o akci většího charakteru (např. Dny NATO, setkání s papežem), je vhodné v co největší míře využít hromadné dopravní prostředky. Na podobné akce se vypravují zvláštní autobusy či vlaky, což usnadňuje dopravu a zejména parkování přímo v místě konání. Vždy je však značné množství lidí, kteří na akci přijíždějí vlastním vozidlem nebo autobusem. V případě Dnů NATO to činí přibližně 15 tis. vozidel každý den (zdroj: pořadatelé akce). Takový skokový nárůst dopravy může způsobit komplikace od tvoření kolon až po celkový kolaps dopravy v daném regionu. Organizátoři by měli proto dopředu odhadnout, jak se bude vyvíjet dopravní situace při očekávaném počtu účastníků, resp. očekávaném počtu vozidel a podle toho naplánovat rozmístění záchytných parkovišť, zabezpečit příjezdové trasy až do míst hlavních napojení na dálniční síť a zejména připravit krizové scénáře.

Tyto scénáře využívají existenci silniční sítě v okolí akce, která se musí pro tyto účely, např. v prostředí GIS, vhodně připravit. Cílem je potom mj. najít nejslabší místa sítě, tj. místa, kde se může potenciálně hromadit nejvíce dopravních prostředků, případně místa, jejichž nefunkčnost by měla dopad na dopravu na celé síti. Pro identifikaci nejslabších článků sítě v okolí místa konání hromadné společenské akce je důležité vhodně zvolit rozsah sítě. Nestačí uvažovat pouze nejbližší okolí, ale je třeba síť rozšířit až do míst sjezdů z nejbližších dálnic nebo rychlostních komunikací, případně výjezdů z nejbližších velkých měst.

Důvod spočívá v tom, že čím blíže budou vozidla k místu konání akce, tím méně komunikací mohou využít a tím je tedy méně možností si předem připravit objížděné a náhradní trasy. Navíc případné zneprůjezdnění hrany v blízkosti místa konání akce může

mít dopad na daleko větší část sítě než bychom čekali, jak bylo uvedeno výše.

Nesmíme zapomenout na skutečnost, že se jedná o mimořádnou akci a že tedy mimo vlastních účastníků bude v síti probíhat běžná doprava, zejména tranzitní. Odhad zatížení je tedy nutno provést na základě analýzy dat z Celostátního sčítání dopravy, případně z předem vhodně rozmístěných dopravních radarů.

Odhad počtu vozidel a míst odkud na akci přijedou

Pro odhad počtu vozidel lze využít zkušeností z předchozích ročníků akce. Co se týká míst, odkud automobily přijíždějí, tak je situace složitější. Pro modelování dopravní poptávky není nutné znát přesné místo bydliště, ale naprosto postačí přiřadit každému zdrojovému uzlu sítě počet automobilů, který z něj bude vycházet, resp. do něho směřovat. Postupy k přiřazení vozidel k uzlům mohou pocházet např. z gravitačního modelu, kdy budeme předpokládat, že více vozidel přijede z větších, než menších měst a také více účastníků bude z měst bližších, než vzdálenějších konání akce. Další metody mohou zahrnovat například zohlednění lokalit, odkud lidé přistupují na webové stránky akce při přihlašování nebo z předprodeje vstupenek. To vše za předpokladu, že takové stránky existují a na akci je vstupné. Analýzou dat z formulářů webových stránek lze odhadnout přibližná místa, odkud mohou účastníci na akci přijet (IP adresy, Google Analytics).

Využití aktuálních dat o přerušení dopravy k simulaci uzavřených úseků

Díky JSDI známe aktuální i plánované uzavírky, takže víme, které úseky nemůžeme do výpočtu zahrnout. Z této databáze a databáze nehod dokážeme odhadnout, který úsek je náchylnější k nějakému druhu přerušení. Tyto informace se nedají použít přímo pro výpočet pravděpodobnosti přerušení dopravy, protože se týkají normálního (průměrného) stavu a ne situace, kdy po úseku projíždí mnohem vyšší počet vozidel. Tyto údaje lze použít pro určení míry pravděpodobnosti, se kterou se může na daném úseku vyskytnout nějaká dopravní komplikace. Je samozřejmě nutné brát do úvahy roční období (nemá tedy smysl analyzovat data pocházející ze zimního období, kdy jsou silnice přerušeny jevy, které se v létě, kdy se má konat akce, nevyskytují).

Postupy výpočtu

Ke každému zdrojovému uzlu je třeba vypočítat nejhodnější cestu do místa konání. Na základě toho pro každý úsek zjistíme, kolik po něm přijede vozidel. Z dat, která má CDV k dispozici, jsme pro každý úsek schopni získat informaci o jeho kapacitě a také o tom, kolik jej využívá vozidel při běžném provozu (roční průměrná denní intenzita vozidel). Tuto informaci můžeme specifikovat podle toho, zda se jedná o provoz v pracovní dny nebo ve svátky, čímž ji zpřesníme. Jestliže známe průměrné zatížení každého úseku, víme také, kolik vozidel daný úsek je ještě schopen pojmout, než se jeho kapacita naplní.

Stávající simulační modely

V současné době existuje několik dostupných systémů modelování dopravy (např. PTV, Matsim), pomocí nichž se sleduje a vyhodnocuje zatížení silniční sítě vlivem různých překážek provozu. Algoritmy, na kterých uvedené software stojí (např. evoluční algoritmy), jsou aplikovány na danou oblast, v níž simulují změny systému až po Nashův rovnovážný stav systému (např. Scott et al., 2006). Jejich nasazení pro simulaci konání mimořádné akce je ale problematické, protože jsou stavěny právě pro dosažení zmíněného rovnovážného stavu, ke kterému je třeba několika iterací. Vycházejí z předpokladů, že každý řidič se snaží upravovat svoji pravidelnou cestu tak, aby dosáhl optima. To je využitelné pro města nebo síť, kde se realizuje pravidelný každodenní provoz přibližně stejných účastníků, tj. běžná dojíždka. Tyto předpoklady, ale nejsou splněny, pokud se má jednat o jednorázovou akci. Je tedy nutné použít jiné přístupy.

Jedním z možných přístupů je řešení založené na analýze síťových systémů z pohledu jejich topologie (např. Latora and Marchiori, 2004). U každé sítě lze analýzou její topologické struktury identifikovat slabá místa (např. Bíl and Vodák, 2013). Můžeme pracovat výhradně na základě topologie nebo lze rovněž uvažovat význam každého uzlu, což není pouze křižovatka, ale také města, u kterých je možné rozlišit význam. Ten se obvykle charakterizuje pomocí počtu obyvatel (např. Taylor et al., 2006).

Aplikace metod

Scénáře obecně slouží k tomu, aby ukázaly chování systému při různých situacích, které mohou nastat. První může zahrnovat hromadný odjezd účastníků z akce k předem přiřazeným zdrojovým uzlům. Druhý scénář může počítat s tím, že při odjezdu účastníků bude neprůjezdný zadaný počet úseků. Výběr úseku vychází jednak z pravděpodobnosti založené na datech JSDI. Jako třetí scénář se doporučuje modelovat mimořádné situace, kdy se množství vozidel na dané komunikaci blíží její kapacitě, což dopravu zpomaluje a řidiči mají tedy tendence se přesouvat na méně vytižené komunikace. Ve všech třech scénářích je klíčové zjistit, zda a kde se vyskytnou případné dopravní problémy.

Závěr

V rámci uvedeného stručného přehledu jsme zamýšleli seznámit čtenáře s možnými přístupy z oblasti síťových analýz, které lze použít pro identifikaci slabých úseků silnic, dopadů jejich zneprůjezdnění a pro případy zvýšení dopravní poptávky v době konání jednorázových hromadných společenských akcí.

Poděkování

Príspevek vznikl za podpory projektu TRISK - VG20102015057 - Kvantifikace rizika ohrožení dopravní infrastruktury České republiky přírodními hazardy, poskytnutého v rámci Programu bezpečnostního výzkumu České republiky v letech 2010 - 2015.

Použitá literatura

- [1] Barabási, A.L.; 2005.: *V pavučině sítě*. Paseka, Praha, 280 s.
- [2] Berdica, K.; 2002.: *An introduction to road vulnerability: what has been done, is done and should be done*. *Transp. Policy* 9, 117 - 127.
- [3] Bíl, M.; Vodák, R.; 2013.: *Odolnost silniční sítě proti následkům katastrof*. *Silniční obzor* 74, 176 - 179.
- [4] Jenelius, E.; Petersen, T.; Mattsson, L.G.; 2006.: *Importance and exposure in road network vulnerability analysis*. *Transportation Research Part A* 40, 537 - 560.
- [5] Jenelius, E.; 2010.: *Redundancy importance: Links as rerouting alternatives during road network disruptions*. *Procedia Engineering* 3, 129 - 137.
- [6] Latora, V.; Marchiori, M.; 2004.: *How the science of complex networks can help developing strategies against terrorism*. *Chaos, Solitons and Fractals* 20, 69 - 75.
- [7] Matisziw, T.C.; Murray, A.T.; Grubestic, T.H.; 2009.: *Exploring the vulnerability of network infrastructure to disruption*. *The Annals of Regional Science* 43 (2), 307 - 321.
- [8] Newman, M.E.J.; 2010.: *Networks - An Introduction*. Oxford University Press.
- [9] Scott, D.M.; Novak, D.C.; Aultman-Hall, L.; Guo, F.; 2006.: *Network robustness index: a new method for identifying critical links and evaluating the performance of transportation networks*. *Journal of Transport Geography* 14, 215 - 227.
- [10] Sohn, J.; 2006.: *Evaluating the significance of highway network links under the flood damage: An accessibility approach*. *Transportation Research Part A* 40, 491 - 506.
- [11] Taylor, M.P.; Sekhar, S.V.C.; D'Este, G.M.; 2006.: *Application of Accessibility Based Methods for Vulnerability Analysis of Strategic Road Networks*. *Netw Spat Econ* 6, 267 - 291.