# Stanovení počtu dopravních nehod na nově budovaných okružních křižovatkách

Publikováno: 30. 7. 2013

***Příspěvek byl prezentován na Silniční konferenci 2011.***

## Abstrakt

Okružní křižovatky se staly jedním z nejoblíbenějších opatření ke zklidňování dopravy a zvyšování bezpečnosti na pozemních komunikacích v České republice. Všechna rozhodnutí o realizaci každé nové okružní křižovatky by měla být založena na posouzení očekávaných nákladů a přínosů vyplývajících z budoucího provozu, obzvláště v oblasti plynulosti a bezpečnosti dopravy. Tato studie představuje negativní binomický regresní model, který umožňuje kvantifikaci bezpečnosti na okružních křižovatkách jako funkci četnosti dopravních nehod závislé na provozních a geometrických charakteristikách. Návrh struktury modelu a odhad hodnot parametrů byl proveden na základě detailního popisu vzorku devadesáti okružních křižovatek situovaných na všech typech cest v České republice. Výsledky naznačují, že mezi hlavní determinanty očekávaného počtu nehod patří počet pruhů na vjezdu do okružní křižovatky, rychlost vozidel v okolí křižovatky, šířka pojízdného prstence a samozřejmě také intenzita vozidel na vjezdu do okružní křižovatky. Výsledná struktura modelu je v souladu se strukturami predikčních nehodovostních modelů, které jsou využívány v zemích EU a v USA. Určité rozdíly jsou však patrné v míře vlivu jednotlivých proměnných na očekávaný počet nehod.

## Východiska a cíle studie

Křižovatky jsou rizikovou částí silniční sítě. Podle manuálu bezpečnosti dopravy vydaného iRAP (iRAP, 2010) jsou nehody na křižovatkách celosvětově jedním z nečastějších typů nehod. To ostatně potvrzují i statistiky Policie České republiky - přibližně 25 % všech nehod v České republice se odehrává v křižovatkách. Riziko nehody v křižovatce souvisí do značné míry s množstvím konfliktních bodů. Z tohoto důvodu se v praxi dostávají do obliby okružní křižovatky, neboť jsou vozidly projížděny v jednom směru kolem centrálního ostrůvku, což minimalizuje počet konfliktních bodů.
Několik studií prokázalo, že přestavba průsečných křižovatek na křižovatky okružní vede k podstatnému snížení počtu dopravních nehod. Například, Schoon & van Minnen (1994) ukázal na vzorku 181 křižovatek v Holandsku snížení o 47 %; Persaud et al. (2001) ve studii porovnávající nehodovost před a po přestavbě na okružní křižovatky identifikoval 40 % snížení; a nakonec i Elvik (2003) ve své meta-analýze 28 studií z různých zemí mimo USA potvrzuje na příkladu nehod se smrtelnými zraněními snížení v rozmezí 50 až 70 %. V případě České republiky lze odkázat na výsledky projektu BESIDIDO (Pokorný, 2011), který na poměrně malém vzorku osmi přestaveb potvrzuje snížení počtu nehod o 36 %.
Míra bezpečnostního benefitu okružních křižovatek se zdá být závislá na jejich geometrických a provozních parametrech. Z výše zmíněné meta-analýzy (Elvik, 2003) je zřejmé, že křižovatky s malým středovým ostrůvkem jsou bezpečnější než rozsáhlé okružní křižovatky. Významný vliv geometrických parametrů pak potvrzuje i zpráva TRB (1998), která v syntéze zkušeností expertů z celého světa vyzdvihuje bezpečnostní benefit okružních křižovatek především v případě přestavby na okružní křižovatku s jedním jízdním pruhem.
V posledních dvaceti letech je v České republice patrný nárůst počtu nových okružních křižovatek. Jejich návrh se řídí nejčastěji některou z existujících metodik (V-projekt, s.r.o., 2000, Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2005, CityPlan spol. s r. o., 2009), které, přes všechny odlišnosti, mají jedno společné – chybí v nich návod, jak posoudit bezpečnostní přínos výstavby nové okružní křižovatky. Cílem této studie je vývoj nástroje, který umožní kvantifikovat bezpečnost na okružních křižovatkách v České republice. Pomocí zobecněného lineárního modelu identifikujeme klíčové

geometrické a provozní charakteristiky okružních křižovatek mající vliv na očekávaný počet nehod a skrze odhad parametrů modelu stanovíme jejich účinek. U každé nově budované okružní křižovatky tak bude možné odhadnout budoucí očekávaný počet nehod a související socio-ekonomické ztráty. Následující sekce představí data využitá k návrhu stochastického nehodovostního modelu, dále bude následovat krátký metodický oddíl zaměřený na predikční nehodovostní modely a oddíl s výsledky analytické části. Závěr studie je věnován rozboru výsledků a možnostem jejich využití v praxi.

# Data

Tato studie integruje data z několika zdrojů, konkrétně databázi silničních nehod, databázi geometrických parametrů pozemních komunikací a data o provozu na pozemních komunikacích. Data o dopravních nehodách jsou převzaty z databáze Policie České republiky. Každý záznam obsahuje celou řadu informací včetně informací o lokalitě nehody (GPS souřadnice), typu nehody, zranění a škodě na majetku. Z důvodu nedávných změn v metodice sběru dat (od 1. 1. 2009 se posunula hranice hmotné škody, při které musí být na místo nehody přivolána hlídka Policie ČR z 50 000 na 100 000 Kč), byla v analýze uvažována pouze data z let 2009 a 2010. Dále jsou vybrány pouze nehody v okružní křižovatce, které jsou vzdáleny do 100 m od středu křižovatky. Tato hodnota eliminující duplicitní přiřazení nehod ke křižovatkám vychází z maximálního poloměru sledovaných okružních křižovatek (74 m) a minimální vzdálenosti mezi dvěma okružními křižovatkami. Nakonec byly z důvodu nedostatku dat o intenzitě pěší dopravy vyřazeny nehody s chodci. Výsledný seznam nehod čítá 188 záznamů odpovídajících 136 nehodám bez zranění, 44 nehodám s jedním lehkým zraněním, pěti nehodám se dvěma nebo třemi lehkými zraněními a třem nehodám s jedním těžkým zraněním. Je nutno vzít v potaz, že uvedená data nezahrnují velkou část nehod bez zranění a škodou do 100 000 Kč z důvodu uvedeného výše v tomto odstavci.
Vzorek 90 okružních byl vybrán ve dvou krocích nepravděpodobnostním způsobem. Nejdříve byly vybrány všechny okružní křižovatky z databáze Silniční databanky ŘSD, u kterých byla známa intenzita na všech vstupních větvích a zároveň na nich nebyly v letech 2009 a 2010 registrovány žádné stavební úpravy. Jednalo se konkrétně o 48 z celkového počtu 286 registrovaných okružních křižovatek. Abychom získali informaci o okružních křižovatkách, které nejsou součástí sítě ŘSD, byl vzorek doplněn o dalších 42 okružních křižovatek na místních komunikacích zmapovaných v rámci projektu BESIDIDO. Z důvodu neexistence seznamu okružních křižovatek v ČR, který by mohl posloužit jako výběrový rámec, jsou dané případy výsledkem pseudonáhodného výběru pomocí webového mapového serveru.
Data o parametrech silnic a okružních křižovatek byly získány ze dvou zdrojů dat. Základní data o silnicích I., II. a III. třídy a relevantních okružních křižovatkách byla čerpána ze zdrojů Silniční databanky ŘSD. Doplňkové informace byly získány prostřednictvím aplikace Google Earth. Základní popis dat a jejich klíčových popisných charakteristik je uveden v Tabulce 1.

*Tabulka 1: Popisné statistiky geometrických, provozních a nehodovostních dat*

| Označení | Popis | Typ proměnné [Jednotky] | Zdroj * | Popisné statistiky (střední hodnota/směrodatná odchylka/ min/max nebo četnost) |
|---|---|---|---|---|
| AADT | RPDI na vstupu do o.k. | Spojitá [voz./rok] | RSD/B | 17993 / 9873 / 3181 / 52952 |
| URBAN | Intravilán / Extravilán | Binární [1=intravilán] | RSD | 1: 80; 0: 10 |
| LANES_R | Dva pruhy v o.k. | Binární [1=ano] | GE | 1: 6; 0: 84 |
| LANES_A | Dva pruhy na větvi o.k. | Binární [1=ano] | GE | 1: 5; 0: 85 |
| OUTER_D | Vnější průměr | Spojitá [m] | GE | 42 / 24 / 18 / 146 |
| BYPASS | Bypass v o.k. | Binární [1=ano] | GE | 1: 15; 0: 75 |
| ANGLE | Max. úhel mezi větvemi | Spojitá [stupňová míra] | GE | 118 / 25 / 65 / 180 |
| APRON | Pojížděný prstenec | Spojitá [m] | GE | 2.1 / 1.2 / 0 / 6 |
| ISLAND | Průměr středového ostrova | Spojitá [m] | GE | 24 / 23 / 7 / 120 |
| ARMS | Počet větví | Spojitá | GE | 4 / 0.6 / 3 / 6 |
| CRASH | Počet nehod | Spojitá [neh./2 roky] | PCR | 2.1 / 3.6 / 0 / 22 |

* RSD – Silniční databanka ŘSD; B – projekt BESIDIDO; GE – Google Earth; PCR - Policie České republiky

popisující vztah mezi lineárním prediktorem xβ a očekávanou hodnotou vysvětlované proměnné (počtem dopravních nehod). K odhadu vektoru parametrů β se využívá metoda maximální věrohodnosti. Detaily k postupu odhadu parametrů lze nalézt například v práci Kmenty (1986).
Z popisných statistik v Tabulce 1 je patrné, že hodnota rozptylu počtu nehod na okružních křižovatkách je přibližně 1,7 krát větší než střední hodnota dané veličiny, což odporuje základnímu předpokladu Poissonovy regrese o rovnosti těchto dvou statistik. Ostatně, jak potvrzují i další studie, nadměrný rozptyl se objevuje ve většině nehodovostních dat (Zhang et al., 2007). Tento problém je možné vyřešit malou úpravou specifikace modelu, konkrétně doplněním nepozorovatelné heterogenity do spojovací funkce, takže ve výsledku dostaneme funkci

$$\lambda = e^{(x\beta+\varepsilon)},$$

kde γ a β_i přestavují regresní koeficienty modelu. Schopnost modelu reprezentovat empirická data byla hodnocena kombinací Akaikeho informačního kritéria (AIC) a testu poměrem věrohodnosti.

## Výsledky

Na výstupu analytické části jsme získali model, který nejlépe reprezentuje empirická data použitá v této studii. Nutno poznamenat, že z důvodu snadnější interpretovatelnosti modelu jsme uvažovali pouze modely s proměnnými, které mají na 10 % hladině významnosti nenulový vliv na vysvětlovanou proměnnou. Výsledky analytické části jsou uvedeny v Tabulce 2.

*Tabulka 2: Vysvětlující proměnné a odhadnuté parametry výsledného modelu*

| Vysvětlující proměnná $x_i$ | Odhad $\beta_i$ | SEM | z-skóre | Pr (>\|z\|) |
|---|---|---|---|---|
| ($\gamma$) | -1.91 | 2.04 | -0.94 | 0.349 |
| AADT | 0.39 | 0.21 | 1.82 | 0.068 |
| URBAN1 | -1.27 | 0.30 | -4.18 | < 0.001 |
| APRON | -0.17 | 0.10 | -1.74 | 0.082 |
| LANES_A1 | 1.66 | 0.39 | 4.21 | < 0.001 |
| | | | | |
| AIC | 322.04 | | | |
| Odhad α | 2.12 | | | |
| SEM α | 0.83 | | | |
| 2 x Log-Likelihood | -310.04 | | | |

## Souhrn a diskuze

Cílem této studie bylo vytvořit predikční nehodovostní model pro okružní křižovatky využitelný v podmínkách České republiky. Výsledný negativní binomický model popisuje závislost mezi počtem nehod jako vysvětlovanou proměnnou a RPDI, lokalitou, počtem jízdních pruhů a šířkou pojízdného prstence jako vysvětlujícími proměnnými. Výsledky naznačují, že okružní křižovatky v intravilánu jsou, co se týče počtu nehod motorových vozidel, bezpečnější než okružní křižovatky v extravilánu, a to pravděpodobně díky nižší rychlosti vozidel vjíždějících do křižovatky. Jako výrazně nebezpečnější se jeví také okružní křižovatky s dvěma jízdními pruhy na vstupních větvích. Ostatně, to je v souladu s analogickými studiemi, které tento fakt zdůvodňují vyšším počtem konfliktních bodů, prostorem pro nebezpečné předjíždění před křižovatkou a vyšší rychlostí (TRB, 2010). Z výsledků dále vyplývá, že četnost nehod klesá s šířkou pojízděného prstence okružní křižovatky.
Na závěr je nutno zmínit, že s ohledem na různorodost geometrických a provozních charakteristik okružních křižovatek je velikost vzorku využitého v této studii nedostačující pro automatické zobecnění na celou populaci. Predikční modely představené v této studii odpovídají poměrně dobře nejběžnějším typům okružních křižovatek v ČR. Deskriptivní statistiky v Tabulce 1 poskytují návod k interpretaci termínu „nejběžnější“. V případě atypických okružních křižovatek doporučujeme pečlivě zvážit adekvátnost využití zde uvedených modelů.

## Použitá literatura


Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2005. Metodický pokyn „Velké okružní křižovatky“. Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., Brno.
CityPlan spol. s r. o., 2009. Příručka pro navrhování okružních křižovatek [online]. c2009 [cit. 2011-06-22]. <http://www.cityplan.cz/index.php?id_document=1372>.
Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E., Wets, G., 2010. Explaining variation in safety performance of roundabouts. Accident Analysis and Prevention, vol. 42, iss. 2, pp. 393 – 402.
Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E., Wets, G., 2011. Extended prediction models for crashes at roundabouts, Safety Science, vol. 49, iss. 2, pp. 198 – 207.
Eenink, R., Reurings, M., Elvik, R., Cardoso, J., Wichert, S., Stefan, C., 2008. Accident Prediction Models and Road Safety Impact Assessment: recommendations for using these tools [online]. c2008 [cit. 2011-06-22]. <http://ripcord.bast.de/pdf/RIPCORD-ISEREST-Deliverable-D2-Final.pdf>.
Elvik, R., 2003. Effects on road safety of converting intersections to roundabouts: review of evidence from non-U.S. studies. Transportation Research Record, vol. 1847, pp. 1 – 10.
iRAP, 2010. Road Safety Toolkit: Intersections [online]. c2010 [cit. 2011-06-22]. <http://toolkit.irap.org/default.asp?page=crashtype&id=8>.
Kennedy, P., 2008. A Guide To Econometrics, 6th Edition. Blackwell Publishing, p. 246.
Kmenta, J., 1986. Elements of Econometrics, 2nd Edition. Prentice Hall, pp. 175 – 183.
Maycock, G., Summersgill, I., 1994. Methods for investigating the relationship between accidents and road design standards. Transport Research Laboratory, Crowthorne.
Ministry of Transport, 2005. Základní data pro výpočty ekonomické efektivnosti silničních a dálničních staveb v investičních záměrech s použitím programu HDM-4 s kalibrovanými daty (CSHS) [online]. c2005 [cit. 2011-06-22]. <www.mdcr-vyzkum-infobanka.cz/DownloadFile/2010.aspx>.

Persaud, B. N., Retting, R. A., Garder, P. E., Lord, D., 2001. Safety effect of roundabout conversions in the United States: Empirical Bayes observational before-after study. Transportation Research Record, vol. 1751, pp. 1 – 8.
Pokorný, P., 2011. Cost-benefit analysis of implementation of four-arm roundabouts in urban areas. Transactions on Transport Sciences, vol. 4, iss. 2 (in press).
Retting, R. A., Ulmer, R. G., Williams, A. F., 1999. Prevalence and characteristics of red light running crashes in the United States. Accident Analysis and Prevention, vol. 31, iss. 6, pp. 687 – 694.
Road and Motorway Directorate, 2005. Výhledové koeficienty růstu dopravy pro období 2005 – 2040 pro dálnice a rychlostní silnice [online]. c2005 [cit. 2011-06-22]. <http://www.rsd.cz/rsd/rsd.nsf/0/d795e8881160bae5c1256e230048ef83/$FILE/P%C5%99%C3%ADloha%20D.doc>.
Schoon, C., van Minnen, J., 1994. The Safety of Roundabouts in the Netherlands. Traffic Engineering and Control, vol. 35, iss. 3, pp. 142 – 148.
Simonová, E., Hrubý, Z., 2004. BESIDIDO – Moderní úpravy komunikací ve městech a obcích pro zklidňování, vyšší bezpečnost a estetickou úroveň. Silniční obzor, vol. 65, iss. 5, pp. 132 – 133.
TRB, 1998. Modern Roundabout Practice in the United States: A Synthesis of Highway Practice (NCHRP Synthesis 264). Transportation Research Board and National Research Council, Washington, D. C. <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_syn_264.pdf>.
TRB, 2007. Roundabouts in the United States (NCHRP Report 572), Transportation Research Board, Washington, D. C. <http://trb.org/publications/nchrp/nchrp_rpt_572.pdf>.
TRB, 2010. Roundabouts: An Informational Guide, Second Edition (NCHRP Report 672), Transportation Research Board, Washington, D. C. <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_672.pdf>.
V-projekt, s.r.o., 2000. Projektování okružních křižovatek na silnicích a místních komunikacích (Technické podmínky 135). V-projekt, s.r.o., Ostrava.
Zhang, Y., Ye, Z., Lord, D., 2007. Estimating the Dispersion Parameter of the Negative Binomial Distribution for Analyzing Crash Data Using a Bootstrapped Maximum Likelihood Method. Transportation Research Record, vol. 2019, pp. 15 – 19.