

Odstupy mezi vozidly v dopravním proudu a pravděpodobnost srážky se zvěří

Ing. Jan Martolos (EDIP s.r.o.), RNDr. Petr Anděl, CSc. (Evernia s.r.o.)

Anotace

Článek informuje o modelu stanovení pravděpodobnosti srážky živočichů a s vozidlem na pozemní komunikaci. Analyzuje rozložení velikosti odstupů mezi vozidly v dopravním proudu.

Klíčová slova

odstupy mezi vozidly, pravděpodobnost srážek se zvěří

Annotation

XXXX

Key words

traffic flow gaps, probability of collision between animal and vehicle

Úvod

Bariérový efekt pozemních komunikací a s ním související mortalita živočichů závisí na celé řadě faktorů, které můžeme rozdělit na faktory týkající se živočichů a faktory týkající se komunikace. Na straně živočichů se jedná především o:

- ✓ etologii daného druhu a z toho vyplývající základní vzorce chování,
- ✓ migrační tlak, vyplývající z potravních či populačních vztahů,
- ✓ charakter ekosystémů v hodnocené lokalitě.

Na straně komunikace se jedná o:

- ✓ typ komunikace a z toho vyplývající technické řešení,
- ✓ směrové a výškové uspořádání v dané lokalitě,
- ✓ intenzita dopravy.

Pravděpodobnost srážky vozidla se zvěří závisí tedy mimo jiné i na intenzitě dopravy na komunikaci, konkrétně na velikosti odstupů mezi vozidly.

Odstupy v dopravním proudu

Dopravní proud je sled vozidel pohybujících se v jednom (nebo více) jízdnicích pruzích v jednom směru.

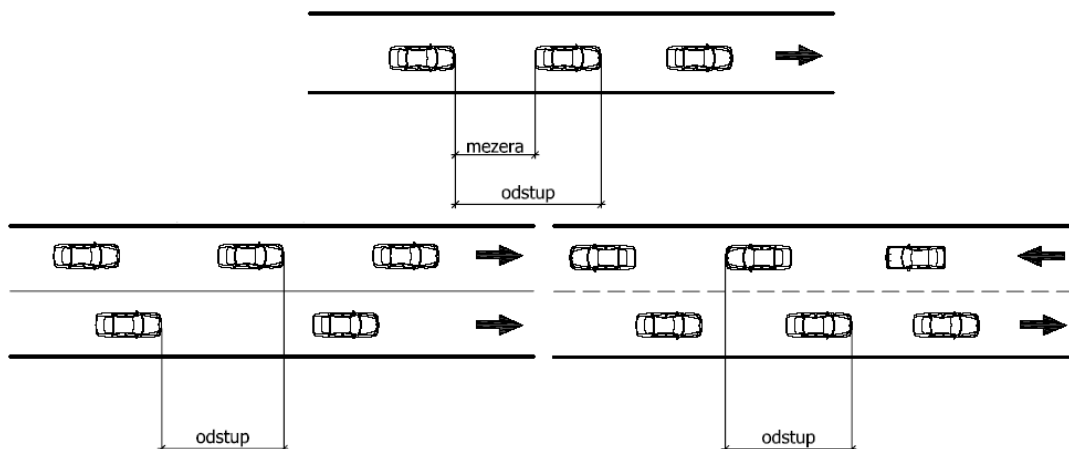
Základní charakteristiky dopravního proudu jsou:

- ✓ intenzita (vyjadřuje se ve vozidlech za časový interval – hodinu, den)
- ✓ rychlost (průměrná, okamžitá, ...)
- ✓ hustota (počet vozidel na daném úseku komunikace v čase)
- ✓ časový odstup
- ✓ délkový odstup

Odstup mezi vozidly může být definován jako:

- ✓ Časový odstup vozidel – doba mezi průjezdem čel dvou vozidel jedoucích v jízdnicím proudu za sebou
- ✓ Délkový odstup vozidel – vzdálenost čel dvou vozidel jedoucích v jízdnicím proudu za sebou

- ✓ Mezera mezi vozidly – doba mezi průjezdem zádi a čela dvou vozidel jedoucích za sebou a nebo dvou protijedoucích vozidel



Vzniklé odstupy se využívají pro:

- ✓ zařazení jiných vozidel do dopravního proudu – toho se využívá například na křižovatkách – teorii odstupů mezi vozidly na křižovatkách využívají postupy určující kapacitu křižovatek,
- ✓ přecházení chodců – chodci využijí dostatečně dlouhý odstup pro překonání komunikace,
- ✓ překonání komunikace zvěří – obdobně jako pro člověka, tvoří komunikace bariéru v pohybu i pro zvěř (právě této problematice se budeme věnovat v druhé části článku).

Poissonovo rozdělení pravděpodobnosti

V teorii dopravního proudu bývá rozdělení časových odstupů vyjadřováno různými způsoby. Mohou to být modely analytické nebo stochastické (náhodné) založené na výsledcích přímých měření dopravního proudu. Ze stochastických modelů jsou nejčastěji používány pravděpodobnostní modely – Poissonův model, negativně exponenciální model, atd.

Nejvhodnějším modelem pro popis výskytu jednotlivých odstupů se, v souladu s výsledky dřívějších obdobných měření [3], ukázalo Poissonovo rozdělení.

Podmínky použití Poissonova modelu (tzv. Adams-Kinzer kritéria):

- ✓ vozidla v dopravním proudu udržují různé odstupy, které jsou závislé na hustotě a rychlosti dopravního proudu,
- ✓ všechna vozidla se mohou pohybovat volně, nejsou ve vzájemné interakci, předjíždění je vždy umožněno (odpovídá úrovni kvality dopravy A),
- ✓ průjezd vozidla sledovaným místem na komunikaci je náhodný,
- ✓ pravděpodobnost výskytu odstupu určité délky ve zvoleném časovém intervalu je (přibližně) úměrná délce intervalu.

Přestože shoda skutečného rozdělení odstupů s teoretickým Poissonovým rozdělením není úplná, pro naše účely (aplikace na výpočet pravděpodobnosti srážky se zvířetem) je dostatečná (zvířata se také nechovají přesně podle vzorců).

Poznámka: Jak ukážeme dále, tento model je dostatečně přesný. Větší odchylka byla zaznamenána u míst, kde byl dopravní proud ovlivněn – například blízkou křižovatkou (zejména světelně řízenou), nebo dlouhým úsekem bez možnosti předjíždění.

Sledujme náhodný jev: „v odstupu délky t se vyskytne x vozidel“.

Poissonovo rozdělení s náhodnou veličinou X má tvar:

$$P(X) = e^{-\lambda} \cdot \frac{\lambda^X}{X!} \quad (1)$$

$\lambda > 0$ je jediný parametr tohoto rozdělení. Známe-li jej, je Poissonovo rozdělení plně určeno.

Střední hodnota náhodné veličiny je $\mu = \lambda$ a rozptyl $\sigma^2 = \lambda$.

Máme dopravní proud o intenzitě I (voz/h). Za časový interval t (s) projede tedy určitým místem komunikace (v průměru) $\frac{I}{3600}t$ vozidel.

Poznámka Hodnota 3600 jmenovateli zlomku vyjadřuje počet sekund v jedné hodině.

Vzhledem k tomu, že parametr λ vyjadřuje právě střední hodnotu počtu vozidel, které za interval t projedou určitým místem na komunikaci, platí:

$$\lambda = \frac{I}{3600}t \quad (2)$$

Pokud nepředpokládáme výskyt vozidla v sledovaném intervale (tj $x=0$), ale hledáme výskyt odstavu určité délky (resp. delší než t sekund), má pravděpodobnost (1) následující tvar:

$$P(X = 0) = e^{-\lambda} \quad (3)$$

Tím se mění původní diskrétní pravděpodobnostní rozdělení na rozdělení spojité (negativně exponenciální) – časový odstup je také jev spojitý.

Příklad

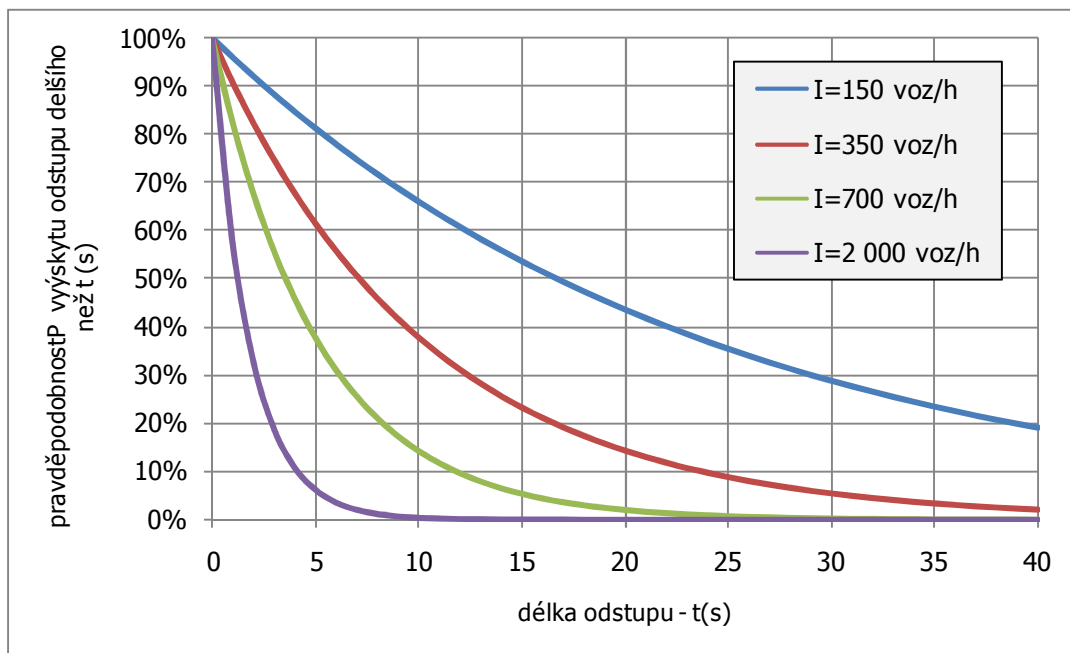
Komunikace s intenzitou $I=360$ voz/h

$$\lambda = \frac{360}{3600}t = \frac{t}{10}$$

Distribuční funkce pravděpodobnosti výskytu odstavu délky má pak tvar $P(t) = e^{-\frac{t}{10}}$.

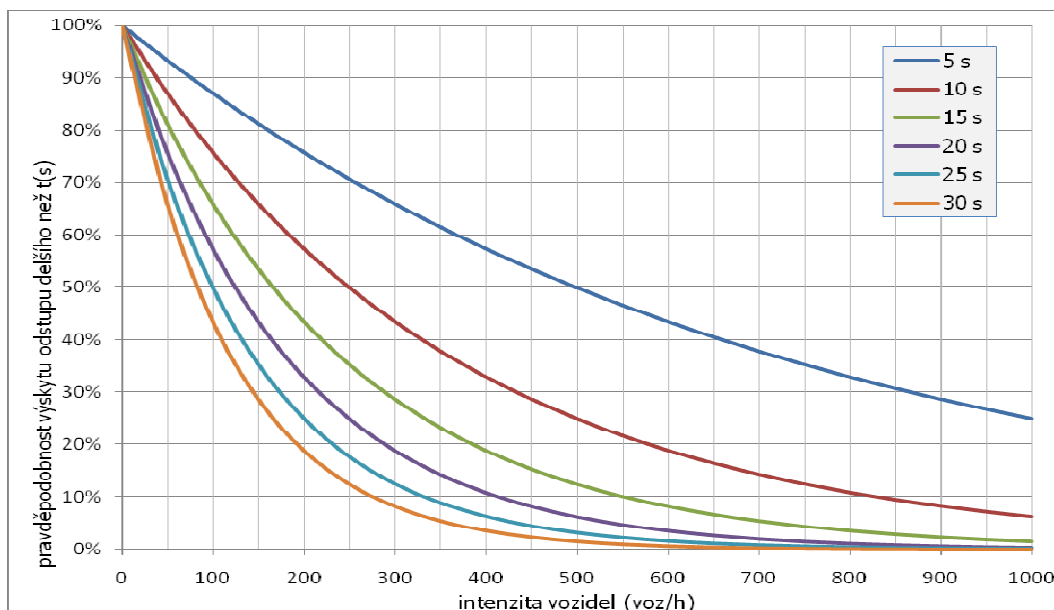
Pravděpodobnost výskytu odstavu delšího než 10s je pak $P(10) = e^{-\frac{10}{10}} = 0,37 = 37\%$

Na obrázku 1 jsou pak vyneseny distribuční funkce výskytů odstavů (tj. pravděpodobnost výskytu odstavu delšího než daný čas) pro různé intenzity dopravy.



Obrázek 1: Výskyt časových odstupů při různých intenzitách dopravy

Obdobným grafem lze vyjádřit závislost pravděpodobnosti výskytu odstupu většího než X s v závislosti na intenzitě dopravy na komunikaci – viz obrázek 2.



Obrázek 2: Závislost pravděpodobnosti výskytu odstupu dané délky na intenzitě dopravy

Dopravní průzkumy

Pro účely podrobné analýzy odstupů bylo přistoupeno k vlastnímu měření. Bylo využito automatického detektoru dopravy (radaru), který umožňuje zaznamenávat přesné časy průjezdu vozidel a tím určit velikost odstupů mezi jednotlivými vozidly. Radar byl vždy po dobu jednoho týdne nasazen celkem na 19 stanovištích na komunikacích II. III. tříd a na místních komunikacích. Seznam stanovišť, doba a čas měření a odhad ročních průměrných denních intenzit (RPDI) (ve voz/den) jsou shrnuty v *tabulce 1*.

Číslo	Stanoviště	Komunikace	Odhad RPDI
1.	Rokycany	II/183	2527
2.	Holoubkov	III/2341	439
3.	Dobřany	II/180	4157
4.	Aš	II/216	5730
5.	Zbůch	I/26	8671
6.	Mirošov	II/117	793
7.	Třemošná	I/27	7645
8.	Rokycany-B.Němcové	MK	4387
9.	Plzeň-Radčická	III/18050	3769
10.	Plzeň-Borská	MK	12763
11.	Plzeň-Valcha	III/18043	4278
12.	Králův Dvůr	III/2363	1807
13.	Františkovy Lázně	III/21330	5519
14.	Dobrotice	III/1882	591
15.	Oldřichov v Hájích	III/2904	3246
16.	Stráž nad Nisou	MK	5104
17.	Jenišovice	III/28719	907
18.	Písková Lhota	II/611	4194
19.	Malá Skalice	II/304	1234

Tabulka 1: Seznam stanovišť využitých při analýze

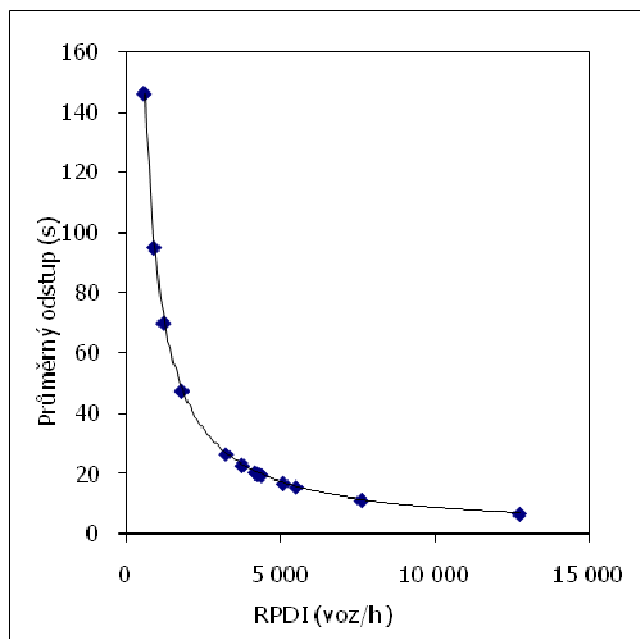
Na dálnicích a silnicích I. třídy bylo využito dat z automatických detektorů spravovaných Ředitelstvím silnic a dálnic.

Analýza shromážděných dat se zaměřila na:

- ✓ odvození obecných vztahů – rozdělení odstupů podle velikosti a závislosti na intenzitě dopravy,
- ✓ stanovení charakteristických rozložení velikosti odstupů pro potřeby aplikace na pravděpodobnost srážky zvěře s vozidlem.

Průměrný odstup vozidel

Již dříve jsme uvedli, že hodnota průměrného odstupů (průměr ze souboru naměřených odstupů) není veličinou relevantní pro další úvahy. Nicméně bylo i průzkumy ověřeno, že průměrný odstup odpovídá převrácené hodnotě intenzity dopravy (za daný časový úsek). Označme velikost průměrného časového odstupů OP. Na obrázku 3 je vynesena zjištěná závislost mezi hodnotou denní intenzity na stanovišti (RPDI) a průměrného odstup.



Obrázek 3: Vztah mezi průměrným časovým odstupem a RPDI

Průměrný odstup v sekundách lze pak z hodnoty RPDI (voz/den) určit vztahem:

$$O_p = \frac{86400}{RPDI} \text{ (s)}. \quad (5)$$

Konstanta 86400 je počet sekund za den ($24 \cdot 60 \cdot 60$).

Vztah (5) byl ověřen regresní analýzou naměřených dat, koeficient determinace byl 0,98.

Rozložení odstupů

Detektory zaznamenávaly velikost jednotlivých odstupů mezi vozidly po 1 sekundě až do 25 sekund a poté po jedné minutě až do 20 minut. Z toho důvodu byla analýza rozložení výskytu odstupů mezi vozidly rozdělena do dvou kroků na analýzu s krokem jedna sekunda až do 25. sekundy a na analýzu s krokem jedna minuta až do 20. minuty. Analýza byla prováděna s relativními hodnotami, aby se dala jednotlivá stanoviště porovnávat mezi sebou.

Vše si ukažme na jednom konkrétním případě.

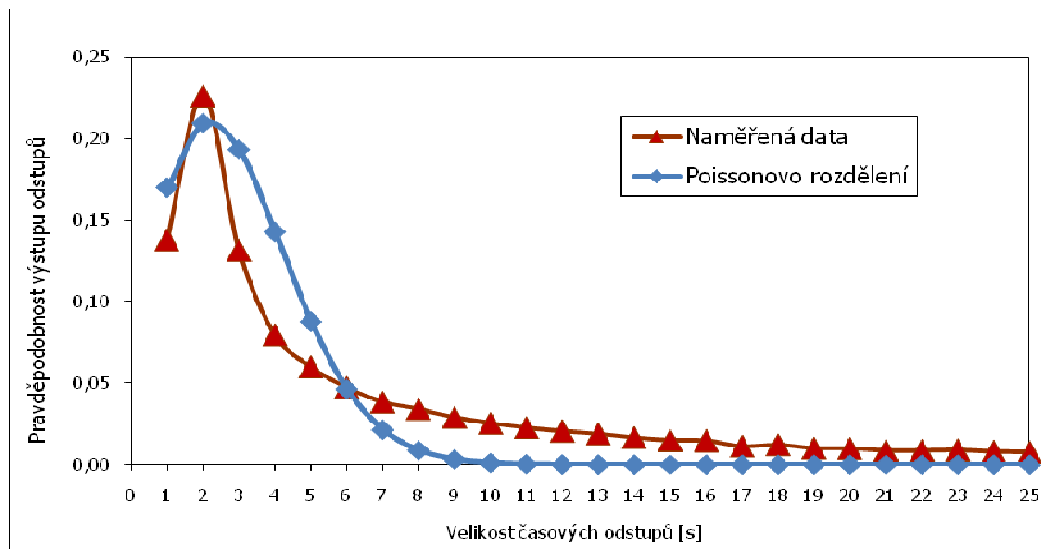
Příklad

Bylo zvoleno stanoviště v Plzni, na místní komunikaci Borská. Intenzita dopravy $I = 12\,763$ voz/den, teoretická průměrná hodinová intenzita $I = 12\,763 / 24 = 530$ voz /h.

Pro sledování vybrán interval $t = 25$ s (intervaly až do délky 25s).

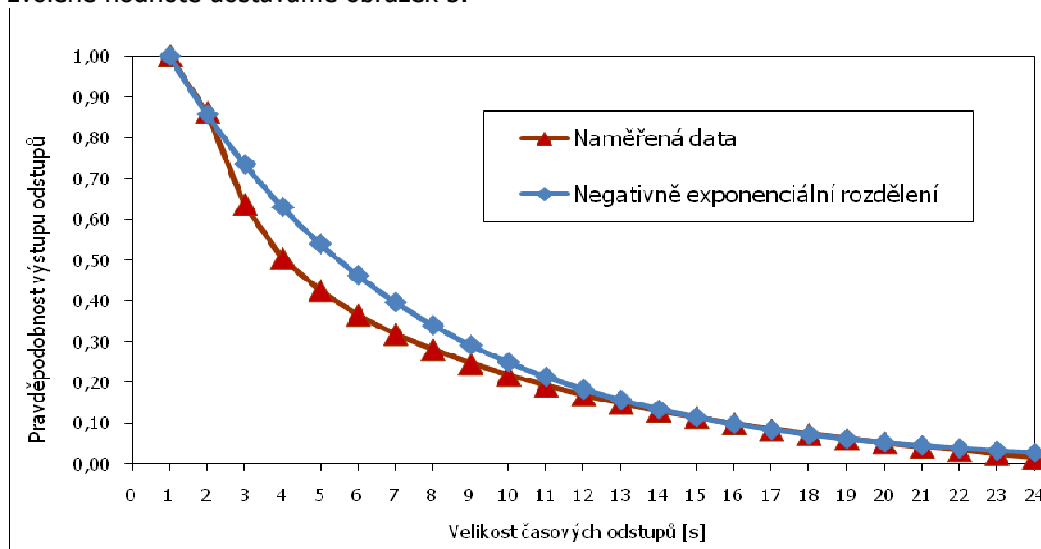
$$\lambda = \frac{530}{3600} 25 = 3,69$$

Na obrázku 4 je porovnání rozložení zjištěných hodnot časových odstupů teoretickým Poissonovo rozdělením.



Obrázek 4: Rozdělení pravděpodobnosti časových odstupů, příklad

Pokud chceme vyjádřit pravděpodobnost, že časový odstup nabude hodnoty menší než, nebo rovné zvolené hodnotě dostáváme obrázek 5.



Obrázek 5: Distribuční funkce pravděpodobnosti časových odstupů, příklad

Analýza potvrdila, že Poissonovo rozdělení dobře aproximuje rozložení odstupů vozidel v dopravním proudu.

Přesnější výsledky byly dosaženy analýzou souboru hodinových měření, kde se eliminoval vliv zjednodušení převodu denní intenzity dopravy na intenzitu hodinovou. V dalších úvahách je již počítáno s hodinovými intenzitami dopravy, tj. zohledňují se denní variace intenzit dopravy.

Bariérový efekt komunikace

Výsledky analýzy časových odstupů umožňují podrobnější hodnocení vlivu intenzity provozu na mortalitu živočichů a bariérový efekt komunikací na konkrétních lokalitách. Při kombinaci analýz časových mezer s odhadem rychlosti pohybu živočichů přes komunikaci v určitých režimech chování můžeme získat ilustrativní představu o míře průchodnosti dané komunikace i o vývoji tohoto parametru v různých denních dobách. Analogické analýzy mohou být použity při podrobné přípravě opatření na snižování mortality a bariérového efektu jako jsou např. ekodukty, nebo oplocení komunikací.

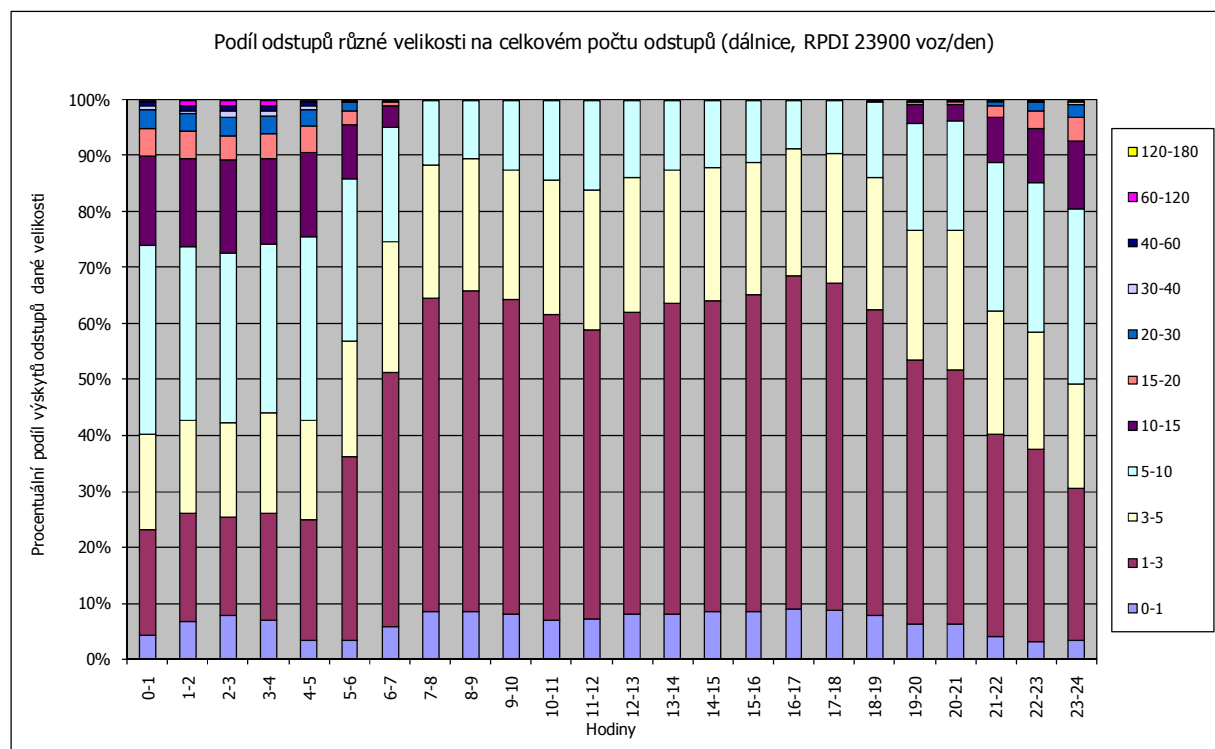
Pro první hrubou aproximaci bylo stanoveno charakteristické rozložení velikosti odstupů pro jednotlivé kategorie komunikací. Byly stanoveny průměrné hodnoty RPDÍ pro jednotlivé kategorie komunikace (z výsledků Celostátního sčítání dopravy 2005) - viz tabulka 1.

Kategorie komunikace	Průměr RPDÍ (voz/den)
Dálnice	23 900
Silnice I. třídy	9 700
Silnice II. třídy	3 400
Silnice III. třídy	2 360
Místní komunikace	6 800

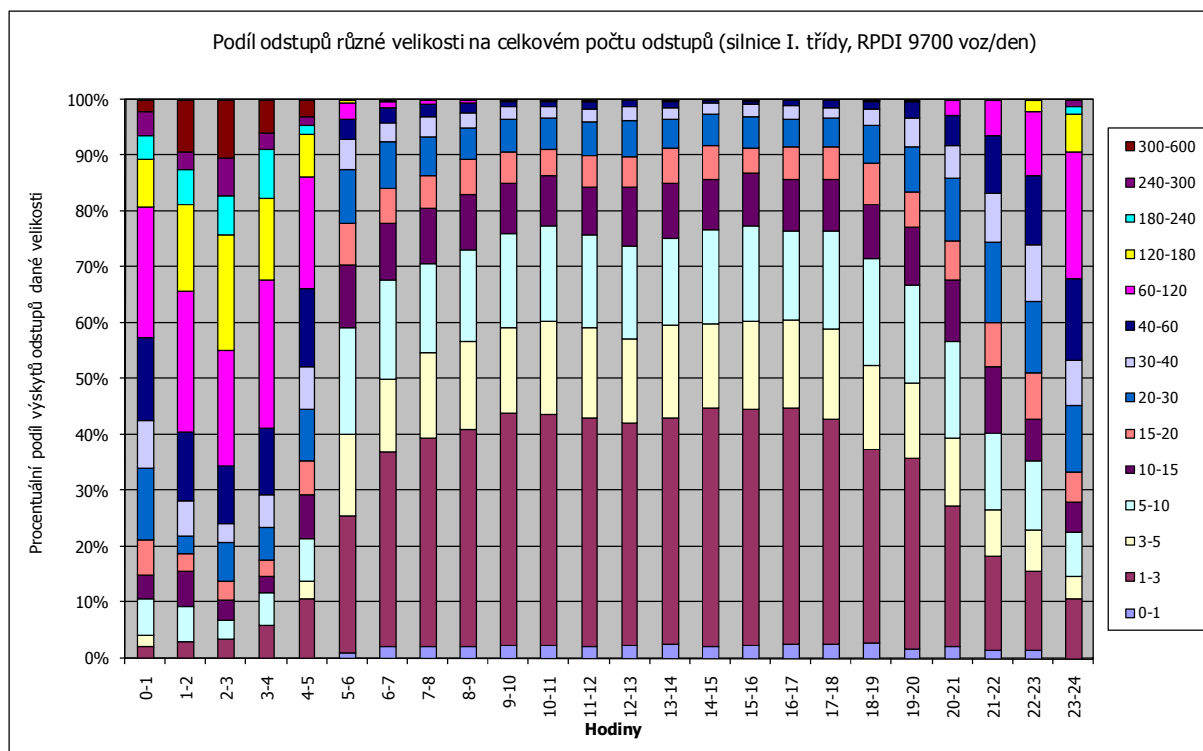
Tabulka 1: Charakteristické hodnoty RPDÍ pro různé kategorie komunikací

Takto stanovené charakteristické hodnoty jsou samozřejmě hrubým zjednodušením vzhledem ke skutečnému rozptylu hodnot RPDÍ na jednotlivých kategoriích komunikací, ale pro naše ilustrativní účely jsou využitelné.

Pomocí odvozených obecných vztahů byly určeny výskyty časových odstupů během dne pro jednotlivé kategorie komunikací (charakteristickou hodnotu RPDÍ). Pro stanovení intenzity dopravy v jednotlivých hodinách dne bylo využito denních variací intenzit dopravy uvedených v [8].



Obrázek 3: Rozložení časových odstupů během běžného pracovního dne na charakteristické dálnici

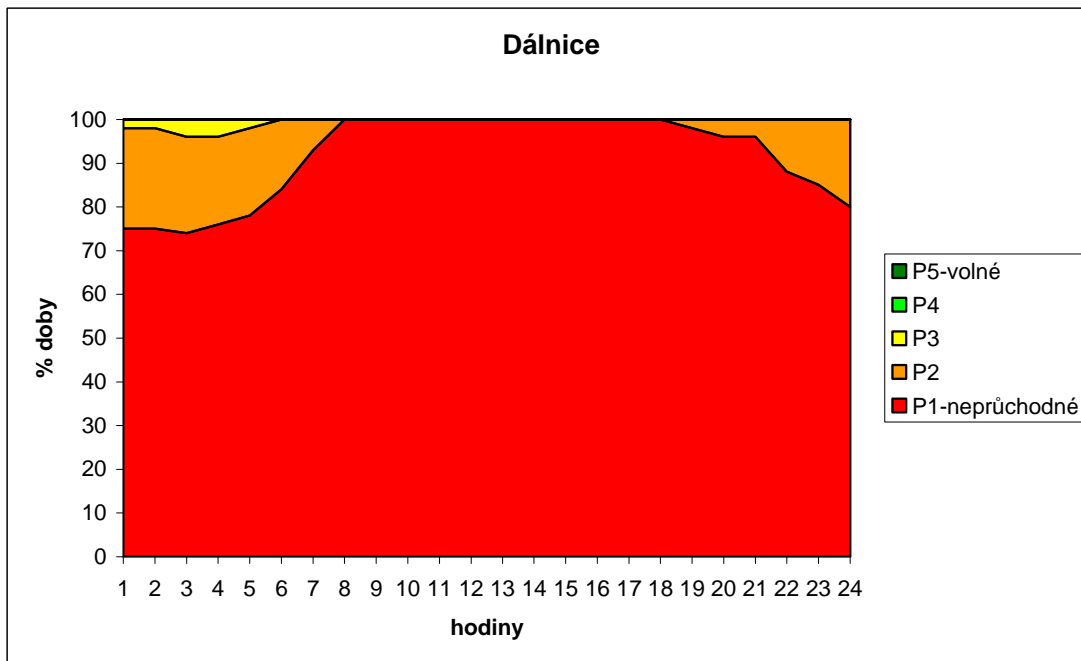


Obrázek 4: Rozložení časových odstupů během běžného pracovního dne na charakteristické silnici I. třídy

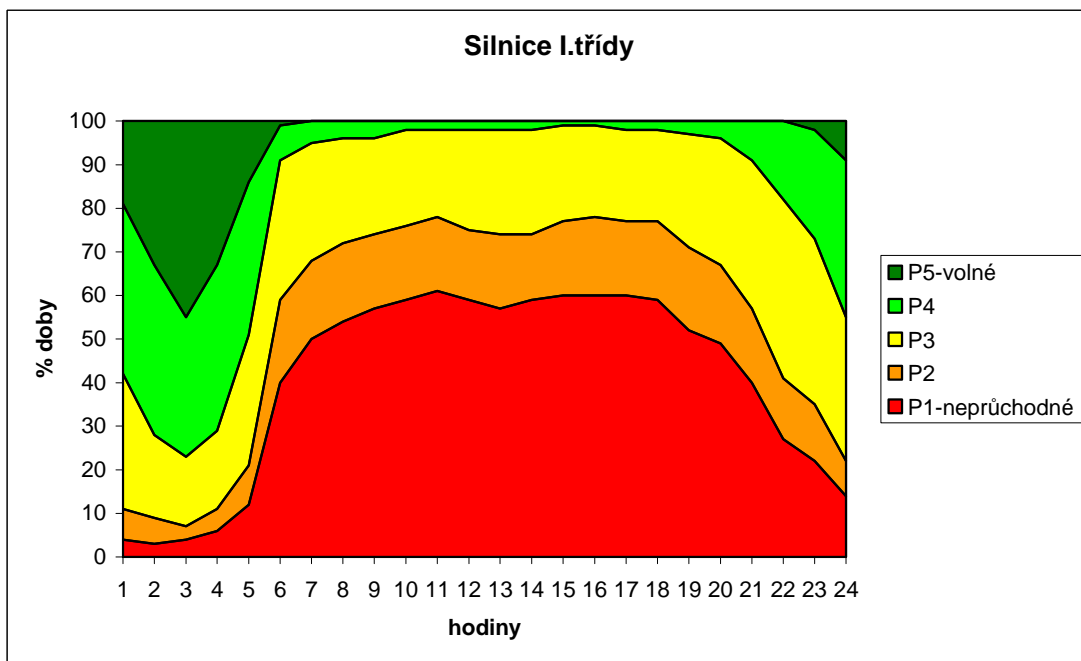
Na obrázku 3 a 4 je rozložení časových odstupů mezi vozidly během dne na „charakteristické“ dálnici a silnici I. třídy.

Na „charakteristické“ dálnici s RPDI 23 900 voz/24h se během denních hodin (6:00-22:00) nevyskytují časové odstupy větší než 10 vteřin, zatímco na silnici I. třídy s nižším RPDI se vyskytují i minutové odstupy mezi vozidly. V nočním období (22:00 – 6:00) se na dálnici vyskytují odstupy mezi vozidly o délce 20 – 30 sekund, na silnici I. třídy se objevují i odstupy větší než dvě minuty.

Aplikací těchto grafů na propustnost komunikace pro zvířata vzniknou obrázky 5 a 6. Ty ukazují propustnost dálnice a silnice I. třídy při přímém rychlém přeběhnutí zvířetem. Grafy demonstrují podíl pěti modelových stavů z hlediska propustnosti od zcela nepropustného, přes tři stavy relativně propustné, až po takové velikosti odstupů, kdy lze daný profil považovat za propustný. Přestože se jedná o silně zjednodušený modelový přístup, ze srovnání obou grafů je patrný zásadní rozdíl mezi oběma typy komunikací, a to především v nočních hodinách, které jsou z hlediska migrace zásadní. Průměrná dálnice je minimálně propustná v podstatě celých 24 hodin, kdežto u průměrné silnice I. třídy je v nočních hodinách relativně vysoký podíl doby s dobrou propustností.



Obrázek 5: Propustnost charakteristické dálnice v jednotlivých hodinách běžného pracovního dne.



Obrázek 6: Propustnost charakteristické silnice I. třídy v jednotlivých hodinách běžného pracovního dne.

Silnice II. a III. třídy jsou (vzhledem ke svému menšímu dopravnímu zatížení) menší bariérou, a to zejména v nočních hodinách. Záleží však vždy samozřejmě na konkrétní intenzitě dopravy na sledovaném úseku.

Na místních komunikacích (v zastavěném území měst a obcí) není problematika srážky vozidla se zvířetem tak akutní (nepočítáme-li domácí zvířata, která se však někdy po komunikaci spíše „potulují“, než že by jí přebíhala). Ve zvýšené míře se zde sice vyskytuje živočišný druh „Homo sapiens sapiens“, u kterého se však předpokládá, že využije pro překonání komunikace jen dostatečně velký odstup mezi vozidly.

Závěr

Analýzou dat získaných měření automatickým radarem se podařilo najít obecné vztahy určující distribuci velikosti časových odstupů mezi vozidly v dopravním proudu. Výsledky byly (mimo jiné) aplikovány v oblasti posuzování vlivu dopravy na živou přírodu. Na zjednodušených modelech je ukázán bariérový efekt komunikace s danou intenzitou dopravy pro volně žijící živočichy.

Článek je publikován v rámci projektů výzkumu Ministerstva dopravy ČR č. 1F55A/065/120 Využití dopravně inženýrských dat a metod pro kvantifikaci vlivů dopravy na životní prostředí a č. 1F54L/007/120 Hodnocení vlivu silnic a dálnic na biodiverzitu okolí.

Literatura

- [1] Projekt VaV č. 1F55A/065/120 Využití dopravně inženýrských dat a metod pro kvantifikaci vlivů dopravy na životní prostředí – roční zpráva 2007, EDIP s.r.o.
- [2] Projekt VaV č. 1F45A/061/120 Způsob a přesnost stanovení celodenních intenzit automobilové dopravy na základě krátkodobých měření – závěrečná zpráva projektu 2007, EDIP s.r.o.
- [3] Způsoby a výsledky analýzy rozdělení časových intervalů dopravního proudu, Ing. Bohumil Pistulka, in: CVT silniční společnost, seminář Havířov 1970, „Modernizace a rozvoj silnic, dálnic a místních komunikací“.
- [4] Celostátní sčítání dopravy 2005, Ředitelství silnic a dálnic ČR, 2006
- [5] Projekt VaV č. 1F54L/009/120 Metodika hodnocení hlukové zátěže v okolí dálnic na volně žijící živočichy – roční zpráva 2007, EVERNIA s.r.o.
- [6] Projekt VaV č. 1F54L/007/120 Hodnocení vlivu silnic a dálnic na biodiverzitu okolí – roční zpráva 2006, EVERNIA s.r.o.
- [7] Medelská, M. a kol., Dopravné inženýrstvo, Alfa Bratislava, 1991
- [8] TP 189 Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích, EDIP s.r.o., 2008