



CENTRUM  
DOPRAVNÍHO  
VÝZKUMU



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

# Kapacita jako náhodná veličina a její měření

Ing. Igor Mikolášek, Ing. Martin Bambušek  
Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

# Obsah

- Kapacita pozemních komunikací
- Funkce přežití
- Kaplan-Meier a parametrické Weibullovo rozdělení
- Měření a zpracování dat
- Výsledky
- Závěr a diskuse



# Definice kapacity

## Obecná definice

- Nejvyšší (očekávatelný) počet vozidel, který projede profilem za daný časový interval
- Problémy – nejvyšší?, čas, pokles kapacity po vzniku kongesce, náhodnost

## Naše definice

- Intenzita vedoucí ke vzniku kolony, nikoliv intenzitu na výjezdu z kolony
- Náhodná veličina
- AgregáčnÍ interval pět minut
- Zaměřeno na kapacitu dálničních uzavírek ( $2 > 1$  jízdní pruh)



# Funkce přežití

## Matematický zápis

$$S(t) = P(T > t) = 1 - P(T \leq t) = 1 - F(t)$$

## Princip

- Popisuje pravděpodobnost přežití v závislosti na „délce života“
- Dopravní analogie: čas -> intenzita
- Pravděpodobnost vzniku kolony v závislosti na intenzitě



# Kaplan-Meierův odhad (PLM)

## Matematický zápis

$$\hat{S}(t) = \prod_{j: t_j < t} \frac{n_j - d_j}{n_j}$$

## Cenzorovaná data

- Sledování ukončeno před vznikem „události“
- Událost = úmrtí, selhání, porucha, apod., zde vznik kolony
- Výrazně zlepšují odhad průběhu funkce přežití
- Např. ukončení studie před úmrtím pacienta



# (Ne)parametrické funkce přežití

## Kaplan-Meierův odhad

- Klasický Kaplan-Meierův odhad je neparametrická metoda
- Funkce přežití je čistě empirická křivka, není popsána žádnými parametry
- Vlastnosti intenzity nesplňují všechny předpoklady pro její použití -> chyba

## Weibullovo rozdělení

- Jedno z typických teoretických rozdělení v analýze přežití
- Popsáno dvěma parametry – měřítko a tvaru
- Parametry lze „fitovat“ (=hledat optimální hodnoty) tak, aby co nejlépe popisovalo pravděpodobnost vzniku kolony v závislosti na intenzitě



# Měření a zpracování dat

## Měřená lokalita

- Uzavírka D5 v km 31,04-36,22 na podzim roku 2016 (2x 14 dní)
- Měření probíhalo v rámci pilotního testování systému ZIPMANAGER
- Data z detektoru Wavetronics cca 100 m před začátkem uzavírky
- Event data – průjezd jednotlivých vozidel



# ZIPMANAGER

- Mobilní telematický systém reagující na aktuální stav dopravy
- Soustava detektorů, proměnného dopravního značení a řídicího SW
- Omezuje dovolenou rychlost (harmonizace dopravního proudu), zakazuje předjíždění nákladních vozidel, varuje před rizikem/existencí kolony
- Harmonizace má snížit riziko vzniku kolony (oddálit její vznik)





# Zpracování dat

## Agregace

- Filtrování chybných záznamů
- Agregace do 1, 3 a 5 minutových intervalů
- Nákladní vozidlo = ekvivalent 2 osobních vozidel (PCE = 2)

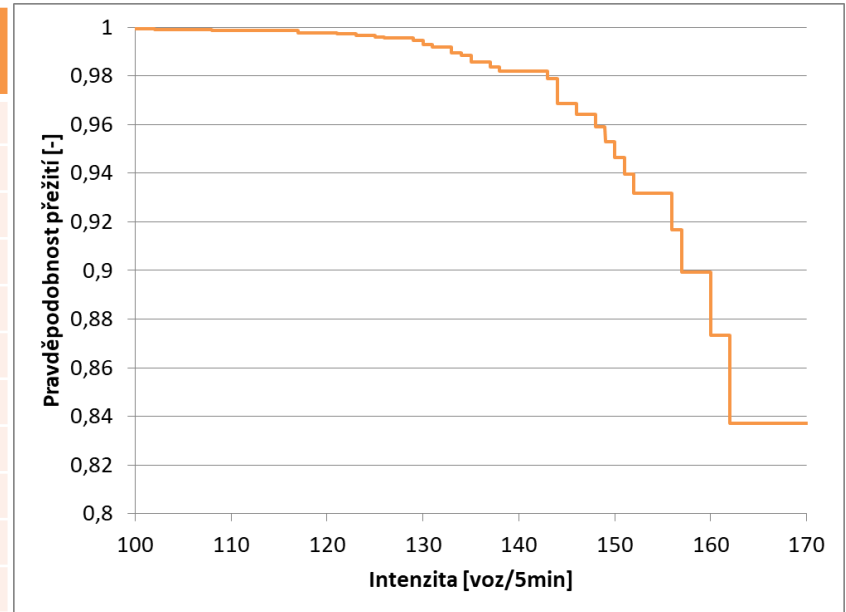
## Hledání vzniku kolony

- Tříminutový interval – pokles průměrné rychlosti pod 40 km/h
- Vyhledání počátku poklesu pod 40 km/h – kolaps dopravního proudu
- Intenzita (PCE) za 5 minut před kolapsem – kapacita („událost“)
- Intenzity mezi obdobími kolon – cenzorovaná data



# Hledání funkce přežití – PLM

Intenzita při kolapsu	Počet událostí	Vystaveno riziku	Podíl přežití	Celkový podíl přežití
89	1	7214	0,9999	0,9999
90	1	7058	0,9999	0,9997
93	1	6620	0,9998	0,9996
...	...	...	...	...
126	2	1498	0,9987	0,9951
129	1	1207	0,9992	0,9943
130	2	1120	0,9982	0,9925
...	...	...	...	...
157	1	52	0,9808	0,8947
160	1	35	0,9714	0,8692
162	1	24	0,9583	0,8329



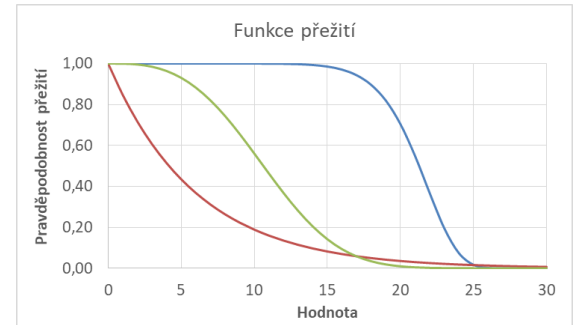
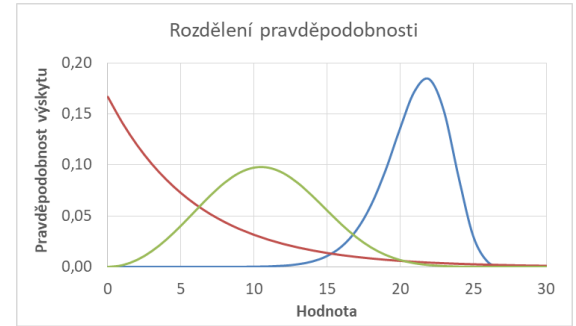
# Hledání funkce přežití – Weibullovo rozdělení

## Weibullovo rozdělení

- Popisuje rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny a odvozené funkce vč. funkce přežití
- Definováno (nejčastěji) dvěma parametry

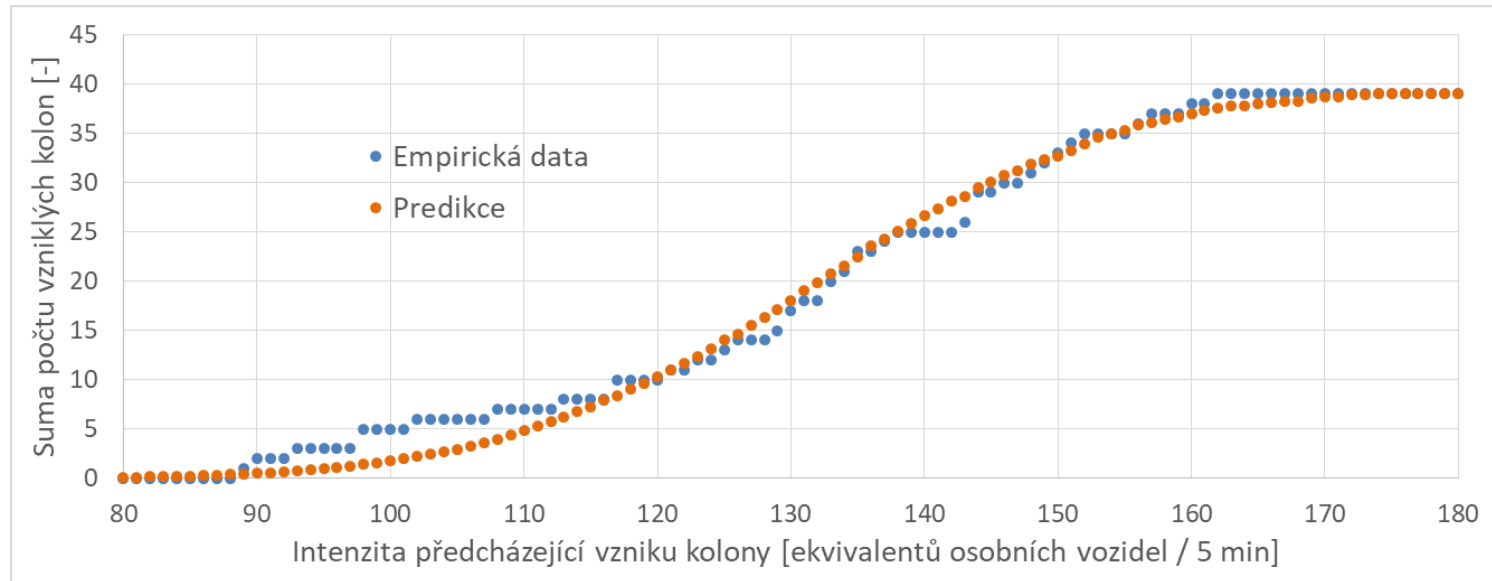
## Hledání parametrů

- „Fitování“ parametrů na data
- Suma kvadrátů chyby (metoda nejmenších čtverců)
- Empirická vs. predikovaná distribuční funkce vzniku kolon v závislosti na intenzitě



# Hledání funkce přežití – Weibullovo rozdělení

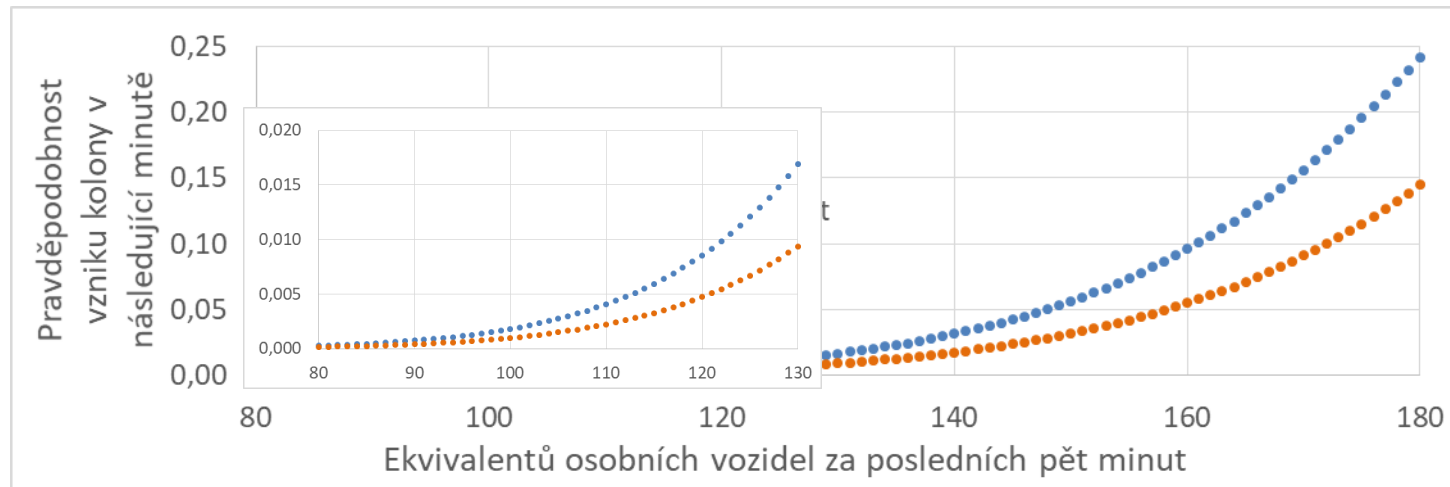
## Příklad „nafitované“ funkce – období harmonizace



# Výsledky

## Srovnání kapacity před a po aktivaci systému ZIPMANAGER

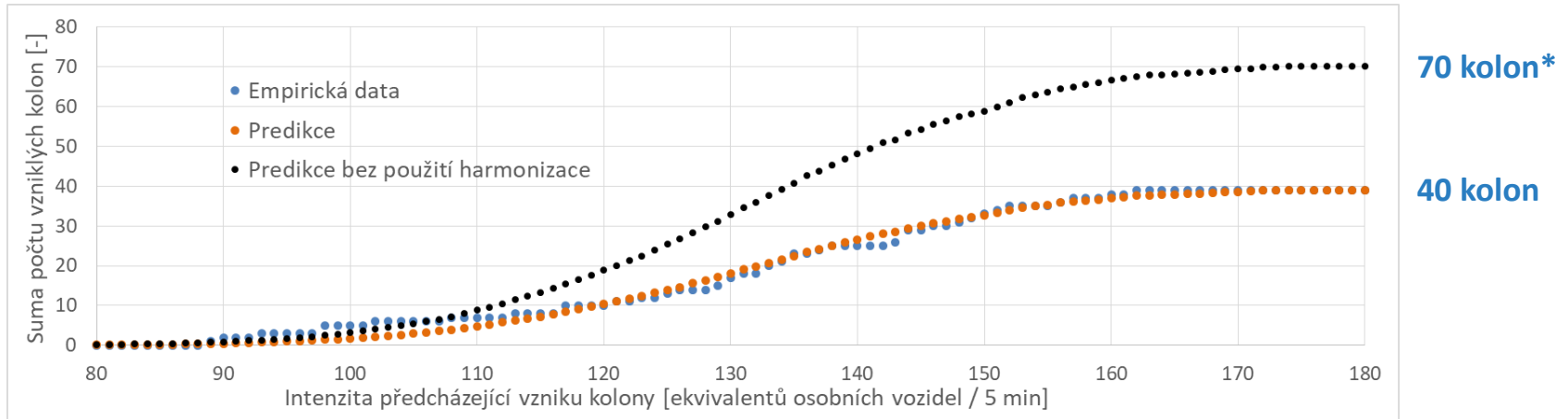
- Distribuční funkce kapacity = doplněk funkce přežití –  $F(t) = 1 - S(t)$



# Výsledky

## Predikce vzniku kolon bez řízení dopravy s pomocí harmonizace

- Výsledná funkce přežití z kontrolního období je použita na data z období po aktivaci harmonizačních schémat



# Závěr a diskuse

## Zpracování dat

- Vytvořen soubor postupů zpracování dat pro zpracování v analýze přežití
- Konkrétní definice a parametry se mohou lišit v závislosti na situaci
- Bylo by vhodné využít detektor(y) v uzavírce a datovou fúzi pro kontrolu místa vzniku kolony
- Na použitých datech nelze ověřit, zda v některých případech kolona nevznikla až v uzavírce
- Zejména definice kolony a délka agregačního intervalu by měly být předmětem dalšího zkoumání a patrně se budou lišit dle situace



# Závěr a diskuse

## Analýza přežití

- Využití metod analýzy přežití se potvrdilo jako efektivní a užitečný nástroj pro některé aplikace, zejména z oblasti predikce kolon apod.
- Přístup je náročný na sběr a zpracování dat
- PLM se oproti předpokladům a dostupné literatuře neosvědčilo, jelikož intenzita není lineárně rostoucí veličina, což vede k rozporu mezi dvěma předpoklady při používání PLM
- „Fitování“ parametrických rozdělení na kumulativní počet kolon v závislosti na intenzitě při jejich vzniku se zdá být funkční náhradou
- Weibullovo rozdělení je typické, avšak ne nutně nejvhodnější

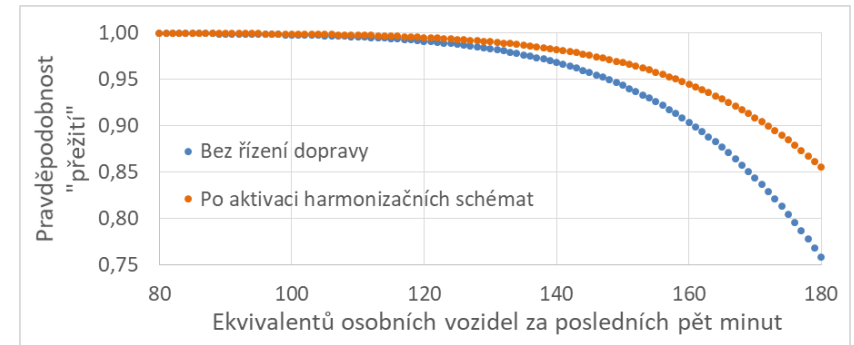




# Závěr a diskuse

## Kapacita uzavírky a ZIPMANAGER

- Kolony vznikají při velmi širokém rozptylu intenzit
- Pravděpodobnost vzniku kolony roste nelineárně
- S ohledem na počet výskytů intenzit je však rozdělení intenzit při vzniku kolon relativně rovnoměrné
- Využití harmonizace snížilo riziko vzniku kolony o 40-46 %
- Existuje-li již kolona, nemůže vzniknout další → klesá počet vystavení riziku → v praxi je pokles počtu kolon nelineární



**Děkuji vám za pozornost.**

**Ing. Igor Mikolášek**

igor.mikolasek@cdv.cz

telefon: +420 541 641 704

**Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.**

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

[www.cdv.cz](http://www.cdv.cz)

