

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA MATEMATICKÉ ANALÝZY A APLIKACÍ MATEMATIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Mají preventivní radary smysl?



Vedoucí bakalářské práce:
RNDr. Tomáš Fůrst, Ph.D.
Rok odevzdání: 2012

Vypracovala:
Lada Kaderková
M-E, III. ročník

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem vytvořila tuto práci samostatně za vedení Tomáše Fürsta, a že jsem v seznamu použité literatury uvedla všechny zdroje použité při psaní mé bakalářské práce.

V Olomouci dne 16. 4. 2012

Poděkování

Ráda bych na tomto místě poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce Tomáši Fürstovi za obětavou spolupráci, odborné vedení a za cenné rady. Také bych ráda poděkovala Centru dopravního výzkumu v Olomouci, především panu Michalu Bílovi, za zapůjčení přenosného radaru. Poděkování patří i panu Danielu Paříkovi z Městské policie Olomouc za poskytnutí seznamu ulic, na kterých byl umístěn preventivní radar v průběhu mého měření.

OBSAH

Úvod	5
1 Základní pojmy	7
1.1 Normální rozdělení	7
1.2 Chí-kvadrát rozdělení	7
1.3 Testování hypotéz	8
1.4 Jarque-Berův test	9
1.5 Dvouvýběrový Wilcoxonův test	10
1.6 Kontingenční tabulky	11
1.7 Test homogenity ve čtyřpolní tabulce	11
2. Měření	12
2.1. Příprava a průběh měření	12
2.2. Ulice Pasteurova	14
2.3. Třída Svornosti	18
2.4. Ulice Jeremenkova	22
3. Závěr	28
4. Dotazník	30
5. Reference	34

Úvod

Při výběru témat na bakalářské práce jsem se snažila si zvolit takové téma, které by mělo praktický přínos a současně mě zajímalo. Když mi pan Tomáš Füst nabídl testování hypotéz v praxi, ihned jsem souhlasila. Tato část statistiky mne již v průběhu druhého ročníku nejvíce zaujala. Mým cílem je zjistit, zda preventivní radary pozitivně přispívají ke snížení rychlosti vozidel. Abych zjistila, zda radary smysl mají, zvolila jsem variantu, kdy budu porovnávat rychlostí vozidel před a po umístění preventivního radaru.

Radar VIASIS 3000 je zařízení, které má výhradně preventivní charakter. Každému projíždějícímu řidiči znázorní na světelném panelu jeho okamžitou rychlost. V případě překročení maximální povolené rychlosti v daném úseku je řidič upozorněn světlem oranžové barvy, které je umístěno nad ukazatelem rychlosti. Měřicí zařízení je přenosné, proto jej lze operativně využít dle potřeby v různých lokalitách. Městská policie v Olomouci umísťuje preventivní radary v týdenních cyklech na předem vytipovaná místa. Především se jedná o úseky častých dopravních nehod nebo lokality, kde dochází k častému překročení rychlosti. [1]

Abych mohla měření uskutečnit, byl mi poskytnut malý skrytý přenosný radar SR4, který byl zapůjčen z Centra dopravního výzkumu v Olomouci. Radar SR4 je kompaktní čítač provozu. K radaru je přiložena baterie o napětí 6 V, která vydrží v provozu 2 týdny. Radar společně s baterií je umístěn v bezpečnostním plastovém boxu. Pomocí tohoto radaru lze měřit rychlosti až 430 000 vozidel. Měří nejen rychlosti, ale také čas projetí, velikost, kategorii vozidla a časový odstup od předchozího vozidla. Z pozice řidiče není radar vidět. Data lze poté z radaru přenést pomocí bluetooth do přiložené aplikace Personal Digital Assistant (PDA).

Abych věděla, kde bude preventivní radar umístěn, bylo nutné kontaktovat městskou policii Olomouc. Zde jsem požádala pana Daniela Paříka o zapůjčení seznamu ulic, kde bude preventivní radar instalován v průběhu mého měření. Měření probíhalo na ulicích Pasteurova, Tř. Svornosti a Jeremenkova v Olomouci. Všechny ulice se nacházejí nedaleko městského centra.

Podobnou situaci se zabývalo Centrum dopravního výzkumu Brno v dubnu 2007, kdy místo preventivních radarů testovali funkčnost policejních figurín. Figuríny umístili na dvě ulice a ponechali je na stejném místě rok. Z jejich závěrů [2] plyne pozitivní přínos na snížení rychlosti, avšak dodali, že řidiči si po určité době na přítomnost figuríny zvykli a

ignorovali ji. Proto dlouhodobou efektivnost figurín v tomto případě nešlo jednoznačně prokázat. [2] Po jednodenní návštěvě na Centru dopravního výzkumu v Brně mi bylo sděleno, že od té doby nebyl podobný výzkum proveden.

Ráda bych svým výzkumem zjistila, zda preventivní radary přispívají k omezení rychlosti projíždějících vozidel.

Z pozitivního výsledku by plynulo možné doporučení policii České Republiky k zakoupení většího množství preventivního radaru. Naopak kdybych došla k závěru, že preventivní radary neovlivňují rychlosti vozidel, by bylo nutné přemýšlet o nové variantě, která by rychlosti vozidel ovlivňovala.

V mé práci nejprve popisují matematickou teorii, kterou jsem využívala v průběhu mého testování. Celou dobu jsem využívala poznatky z testování hypotéz. Další kapitola obsahuje postup a výsledky měření z jednotlivých ulic. Závěrem píše, co z mého měření plyne. Součástí práce je i dotazník, na který odpovídali řidiči z okolí Olomouce. K práci je přiloženo CD obsahující veškerá naměřená data a údaje zjištěné v rámci dotazníku.

Mé cíle jsou tedy naměřit data, upravit je v programu Matlab, graficky znázornit naměřené hodnoty a otestovat, zda distribuční funkce rozdělení dvou souborů jsou stejné.

1 Základní pojmy

Abych věděla, jaký zvolit test při testování hypotézy, bylo nutno otestovat, zda výběr pochází z normálního rozdělení.

Následující 2 kapitoly jsem čerpala z [3].

1.1 Normální rozdělení

Náhodná veličina X má normální rozdělení s parametry $\mu \in R; \sigma > 0$, je-li její hustota rovna

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}.$$

Přitom píšeme a platí $E(X) = \mu$, $\text{var}(X) = \sigma^2$.

1.2 Chí-kvadrát rozdělení

Necht' $n \geq 1$. Náhodná veličina X má rozdělení χ^2 o n stupních volnosti s hustotou

$$f(x) = \frac{1}{2^{\frac{n}{2}} \Gamma(\frac{n}{2})} x^{\frac{n}{2}-1} \exp^{-x/2}, \quad x > 0$$

,kde Γ je gama funkce definována vzorcem $\Gamma(a) = \int_0^{\infty} x^{a-1} e^{-x} dx$.

Střední hodnota je rovna počtu stupňů volnosti a rozptyl je roven dvojnásobku počtu stupňů volnosti, tedy $E(X) = n$, $\text{var}(X) = 2n$.

V celé své práci využívám poznatky z testování hypotéz. Nejprve testuji normalitu pomocí Jargue-Berrova testu. Pokud tento test zamítne nulovou hypotézu, že výběr pochází z normálního rozdělení, používám neparametrický Wilcoxonův dvouvýběrový test. Kde jsem si jako nulovou hypotézu stanovila, že distribuční funkce rozdělení dat naměřených s PR bude stejná, jako distribuční funkce rozdělení dat naměřených bez PR. K sepsání teorie následující kapitoly vycházím z [4] a[5].

1.3 Testování hypotéz

Nechť zkoumaná náhodná veličina X má distribuční funkci patřící do známé třídy distribučních funkcí $\{F_X(x; \theta), \theta \in \Theta\}$, tj. rozdělení pravděpodobností veličiny X závisí na neznámém parametru θ , o kterém předem víme, že patří do množiny $\Theta \subset R^k$. Na základě n nezávislých pozorování realizací veličiny X se můžeme domnívat, že parametr patří do nějaké vlastní podmnožiny množiny Θ , tj. že $\theta \in \Theta_0 \subset \Theta$, kde

$$\begin{aligned} \Theta_0 \cup \Theta_1 &= \Theta, \\ \Theta_0 \cap \Theta_1 &= \emptyset. \end{aligned}$$

Tvrzení $\theta \in \Theta_0$ nazveme nulovou hypotézou a zavádíme jej H_0 , tvrzení $\theta \in \Theta_1$ nazveme alternativní hypotézou a zavádíme jej H_A .

Postup, kterým na základě výsledků experimentu (což je opakované pozorování realizace náhodné veličiny X) dospějeme k rozhodnutí o platnosti nulové hypotézy, se nazývá test hypotézy. Rozhodnutí o H_0 může být dvojí:

- a) H_0 se zamítá ve prospěch alternativy
- b) H_0 nelze zamítnout.

Při rozhodnutí o hypotéze se můžeme dopustit chyb. Chyby při rozhodování o H_0 mohou také být dvojího druhu:

- a) chyba 1. druhu - H_0 platí, ale my ji přesto zamítneme
- b) chyba 2. druhu - H_0 neplatí a my ji přesto nezamítneme

K otestování nulové hypotézy používáme testovací statistiku neboli výběrovou funkci, což je každá borelovsky měřitelná funkce $\varphi(X_1, \dots, X_n)$ náhodného výběru $X = (X_1, \dots, X_n)$. Náhodný výběr je náhodný vektor $X = (X_1, \dots, X_n)$, jehož složky jsou nezávislé náhodné veličiny, které mají stejné rozdělení pravděpodobnosti jako zkoumaná náhodná veličina X .

Obor možných hodnot testovacího kritéria je rozdělen na 2 obory, a to na obor přijetí testované statistiky, kdy nulovou hypotézu nezamítáme a na kritický obor W , kdy nulovou hypotézu zamítáme. Kritický obor ohraničují kritické hodnoty, což jsou kvantily rozdělení testovacího kritéria při platnosti nulové hypotézy. Kritický obor je volen tak, aby byla omezena pravděpodobnost chyby 1. druhu pevně zvoleným malým číslem α . α nazýváme hladina významnosti. Zde je nutné zavést pojem p -value. P -value vyjadřuje

pravděpodobnost spočítanou za platnosti nulové hypotézy, že dostaneme právě naši hodnotu $t = T(x)$ nebo hodnotu, která ještě více odporuje testované hypotéze.

1.4 Jarque-Berův test

Jarque-Berův test je test dobré shody, který testuje, zda data odpovídají normálnímu rozdělení. Testovací statistika JB je definovaná jako

$$JB = \frac{n}{6} \left[S^2 + \frac{1}{4} (K - 3)^2 \right],$$

kde n je počet pozorování, S výběrová šikmost a K výběrová špičatost

$$S = \frac{\hat{\mu}_3}{\hat{\sigma}^3} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{3}{2}}}$$

$$K = \frac{\hat{\mu}_4}{\hat{\sigma}^4} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^2}.$$

Hodnoty $\hat{\mu}_3, \hat{\mu}_4$ jsou odhady třetích a čtvrtých centrálních momentů, \bar{x} je průměr naměřených dat a $\hat{\sigma}^2$ je odhad druhého centrálního momentu neboli výběrový rozptyl.

Pokud data pocházejí z normálního rozdělení, statistika JB má χ^2 rozdělení se dvěma stupni volnosti. [6]

V programu Matlab použijeme JB test na testování normality následovně $h = jbtest(x)$. Kde x je vektor naměřených dat určených k testování. Test vrací hodnotu $h=1$ pokud zamítá nulovou hypotézu na hladině 0,05, že pozorování pochází z normálního rozdělení, a $h=0$ pokud nezamítá.

Jelikož nám JB test zamítl normalitu, vybrala jsem si jeden z neparametrických testů.

1.5 Dvouvýběrový Wilcoxonův test

Test spadá do neparametrických testů. Neparametrické testy jsou takové testy, při nichž nepředpokládáme, že výběr má konkrétní typ rozdělení. Podmínku, kterou musí splňovat, je taková, aby distribuční funkce základního souboru byla spojitá.

Nechť X_1, \dots, X_n a Y_1, \dots, Y_m jsou dva nezávislé náhodné výběry ze dvou neznámých spojitých rozdělení. Chceme testovat hypotézu, že distribuční funkce obou rozdělení jsou totožné.

Všech $m+n$ realizací X_1, \dots, X_n a Y_1, \dots, Y_m uspořádáme vzestupně podle velikosti. Zjistíme součet pořadí hodnot X_1, \dots, X_n a označíme ho T_1 . Obdobně T_2 je součet pořadí hodnot Y_1, \dots, Y_m . Vypočteme

$$U_1 = mn + \frac{m(m+1)}{2} - T_1 \quad \text{a} \quad U_2 = mn + \frac{n(n+1)}{2} - T_2$$

m je počet realizací jednoho náhodného výběru a n je počet realizací druhého testovaného náhodného výběru. Přitom platí $U_1 + U_2 = mn$. [7] Pokud $\min(U_1, U_2) \leq k$, zamítáme testovanou hypotézu. Kde k je tabelovaná kritická hodnota. Označení výběru se volí tak, aby $m \geq n$.

V programu Matlab testujeme následovně $[p, h] = \text{ranksum}(x, y)$.

Výsledkem testu je hodnota h . Test vrací hodnotu $h = 0$ nezamítá-li nulovou hypotézu na hladině 0.05 a $h = 1$, v případě zamítnutí. Dále nám test vypíše hodnotu p (p-value).

Součástí práce je i dotazník, na který odpovídali řidiči z okolí Olomouce. K otestování hypotézy, že muži a ženy odpovídají rozdílně, jsem data uspořádala do kontingenční tabulky 2×2 a provedla jsem test homogenity. Následující kapitoly jsem převzala z [3].

1.6 Kontingenční tabulky

Nechť náhodný vektor $\mathbf{X} = (Y, Z)'$ má diskrétní rozdělení, přičemž veličina Y nabývá hodnot $1, \dots, r$ a veličina Z hodnot $1, \dots, c$. Označíme

$$p_{ij} = P(Y = i, Z = j), \quad p_{i\cdot} = \sum_j p_{ij}, \quad p_{\cdot j} = \sum_i p_{ij}.$$

Předpokládáme, že se uskutečnil výběr o rozsahu n z tohoto rozdělení. Nechť n_{ij} je počet případů, kdy se ve výběru vyskytla dvojice (i, j) . Náhodné veličiny n_{ij} mají sdružené multinomické rozdělení s parametrem n a pravděpodobnostmi p_{ij} . Matici (n_{ij}) se říká kontingenční tabulka. Pišeme

$$n_{i\cdot} = \sum_j n_{ij} \quad n_{\cdot j} = \sum_i n_{ij}.$$

A platí

$$n = \sum_i n_{i\cdot} = \sum_j n_{\cdot j} = \sum_i \sum_j n_{ij}.$$

Číslům $p_{i\cdot}$ a $p_{\cdot j}$ se říká marginální pravděpodobnosti a hodnotám $n_{i\cdot}$ a $n_{\cdot j}$ marginální četnosti.

V mém případě využívám tabulku 2×2 . Tato tabulka vypadá následovně.

n_{11}	n_{12}	$n_{1\cdot}$
n_{21}	n_{22}	$n_{2\cdot}$
$n_{\cdot 1}$	$n_{\cdot 2}$	n

1.7 Test homogenity ve čtyřpolní tabulce

Test homogenity testuje nezávislost veličin Y, Z . To je ekvivalentní tomu,

že $p_{ij} = p_{i\cdot} p_{\cdot j}$, p_{ij} odhadneme $\frac{n_{ij}}{n}$. Lze dokázat [3], že za předpokladu H_0 veličina

$$\chi^2 = n \frac{(n_{11}n_{22} - n_{12}n_{21})^2}{n_{1\cdot}n_{2\cdot}n_{\cdot 1}n_{\cdot 2}}$$

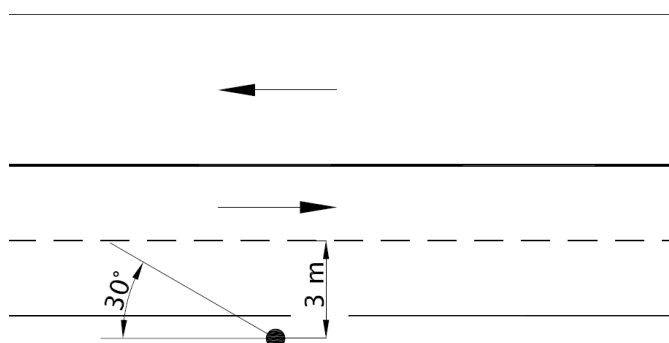
má asymptoticky rozdělení χ_1^2 .

Pokud vyjde $\chi^2 \geq \chi_1^2(1 - \alpha)$, zamítáme homogenitu.

2. Měření

2.1. Příprava a průběh měření

Před prvním měřením jsem se musela seznámit s funkcí skrytého radaru SR4. Jak se skrytý radar umísťuje, je znázorněno níže (obrázek 1).



Obrázek 1. Schéma umístění skrytého radaru. Šipky označují směr jízdy, přitom skrytý radar umísťujeme ve směru, ve kterém chceme rychlosti vozidel měřit. Černá tečka představuje dopravní značku. Skrytý radar je umístěn 1 m vysoko, ve vzdálenosti 3m od středu vozovky, ve které měříme v úhlu 30° .

Měření probíhalo na třech ulicích: ulice Pasteurova, Jeremenkova a třída Svornosti. Skrytý radar byl vždy umístěn na danou ulici v době, kdy tam už Městská policie Olomouc připevnila preventivní radar (dále označován pouze jako PR). Skrytý radar jsem se snažila připevnit v blízké vzdálenosti od PR. Na tomto místě zůstal skrytý radar po celou dobu trvání měření městské police a poté pár dní, kdy byl už PR odinstalován. Přesnou dobu, kdy byl PR na dané ulici, jsem získala z internetových stránek městské policie, tyto informace jsou volně dostupné pro veřejnost. Výsledky z radaru jsem nejprve roztřídila podle dnů v programu Excel, kdy na místě PR byl či nebyl, poté jsem data převedla do textového souboru, pro lepší načtení v programu Matlab a dále jsem data otestovala pomocí výše zmíněných testů implementovaných v programu Matlab. Jako nulovou hypotézu jsem si stanovila, že distribuční funkce rozdělení dat naměřených s PR bude stejná, jako distribuční funkce rozdělení dat naměřených bez PR, oproti alternativě, že nejsou. Vždy jsem porovnávala data naměřená v době, kdy tam PR byl a kdy tam PR nebyl. Před samotným testováním jsem si zvolila časový interval, ve kterém jsem porovnávala data před a po odinstalaci PR. Tento interval byl volen tak, aby v dané ulici nejvíce pokryl počet naměřených dat. Tyto data jsem testovala ve všední dny (pondělí až pátek). Pro zajímavost jsem porovnávala i naměřená data ve všední dny s daty naměřenými o

víkendech. Tato možnost nastala pouze u dvou měření a to na ulici tř. Svornosti a Jeremenkova. Data jsem tedy třídila podle dnů, ale také bylo nutno vybrat data pouze ve směru, ve kterém měření probíhalo. Dále jsem si stanovila mez 30 km/h, čím jsem eliminovala nemotorová vozidla (bicykl). Tato mez byla stanovena po vzájemné dohodě s vedoucím bakalářské práce.

Dále jsem se zaměřila pouze na extrémní rychlosti. Nejprve jsem si řekla, že jako extrém budu brát rychlosti vyšší jak 50 km/h. Po této eliminaci jsem opět provedla oba testy a vypsala mediány. S výsledky jsem však nebyla spokojena, protože hodnoty velmi ovlivňovaly rychlosti blízké 50 km/h. Proto jsem se zaměřila na horní kvantil výběru. Zvolila jsem si 0,95 a 0,99 horní kvantil, tedy srovnávám 5% a 1% nejrychlejších aut. Poté jsem opět provedla dvouvýběrový Wilcoxonův test.

Po prozkoumání naměřených dat ve směru v jakém byl preventivní radar umístěn, bylo příhodné se podívat na opačný směr, než ve kterém se měřilo. Předpokladem bylo, že oba soubory naměřených dat by měly být téměř stejné. Testování v programu Matlab probíhalo stejně jako v předchozích případech. Výsledky z jednotlivých ulic jsou uvedeny v následujících kapitolách.

Než budu popisovat jednotlivé výsledky, ráda bych upozornila na pár problémů, které se mi při měření vyskytly. Ze začátku jsem si řekla, že budu porovnávat nejprve rychlosti naměřené s preventivním radarem a až poté bez radaru. Takže týden předtím, než měl být PR na danou ulici umístěn, jsem připevnila můj skrytý radar. Příští týden jsem na danou ulici přišla zase a zjistila, že PR radar je umístěn v opačném směru nebo ve velké vzdálenosti od mého skrytého radaru. Dalším problémem bylo, že jsem svůj skrytý radar vždy připevnila pouze na jeden den, tedy od rána do večera, a v týdnu s PR jej znovu připevnila, takže mohlo dojít k jinému nastavení (v jiné výšce i v jiném úhlu). Také nastala i možnost, že na dané ulici můj skrytý radar nešel poblíž PR připevnit z důvodu nevhodné dopravní značky nebo že v blízkosti se ani žádná dopravní značka nenacházela. Tato situace nastala například na ulici Stupkova a Jablonského. Proto bylo nutno provést nové měření, jak je uvedeno v následujících kapitolách.

2.2. Ulice Pasteurova

První měření probíhalo na ulici Pasteurova v Olomouci (obrázek 2). Jedná se o frekventovanou ulici nedaleko centra, kde je předepsána maximální rychlost 50km/h. Městská policie umístila PR poblíž vojenské nemocnice od 7. 11. 2011 do 9. 11. 2011. Dne 8. 11. 2011 jsem umístila skrytý radar a ponechala jej na jednom místě do neděle 13. 11. 2011.

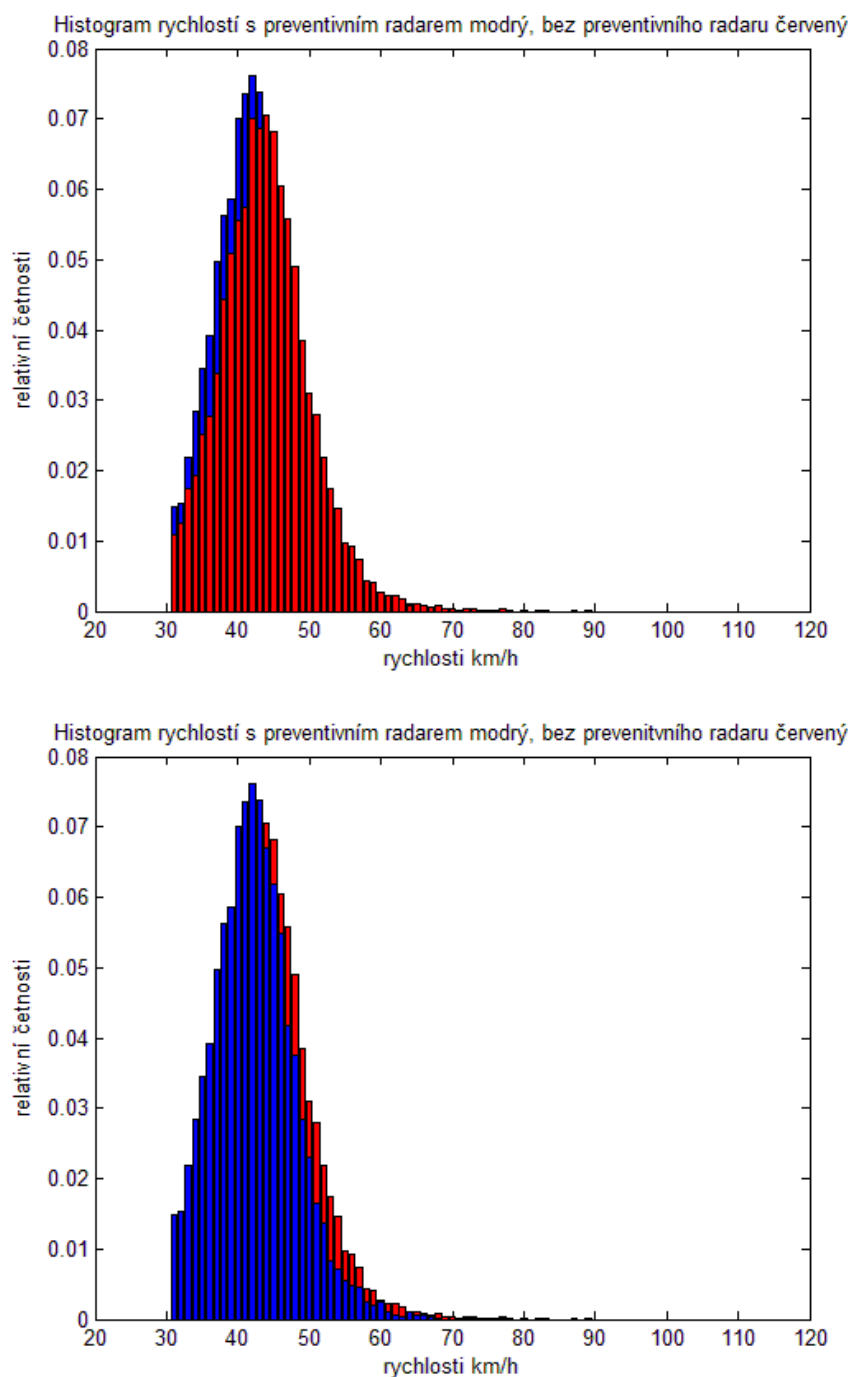


Obrázek 2: Plán města Olomouce, zvýrazněna je ulice Pasteurova, na níž probíhalo měření. Červený puntík značí PR a zelený skrytý radar.

Vzdálenost mezi oběma radary byla asi 10m. Můj radar byl umístěn na opačnou stranu komunikace, než byl PR. Důvodem bylo, že ve stejném směru jak byl PR, nebylo možné můj skrytý radar upevnit. Tato nastalá situace ale nebyla problém, protože skrytý radar zaznamenává data z obou směrů. Abych měla srovnatelná data, vybrala jsem si interval úterý 10:00 až středa 10:00, kdy na ulici PR byl a čtvrtek 10:00 až pátek 10:00, kdy PR byl odinstalován. Interval byl zvolen tak, aby pokryl nejvíce naměřených hodnot. Tímto výběrem bylo získáno 35 624 dat. Z toho 17 137 s PR a 18 487 bez PR.

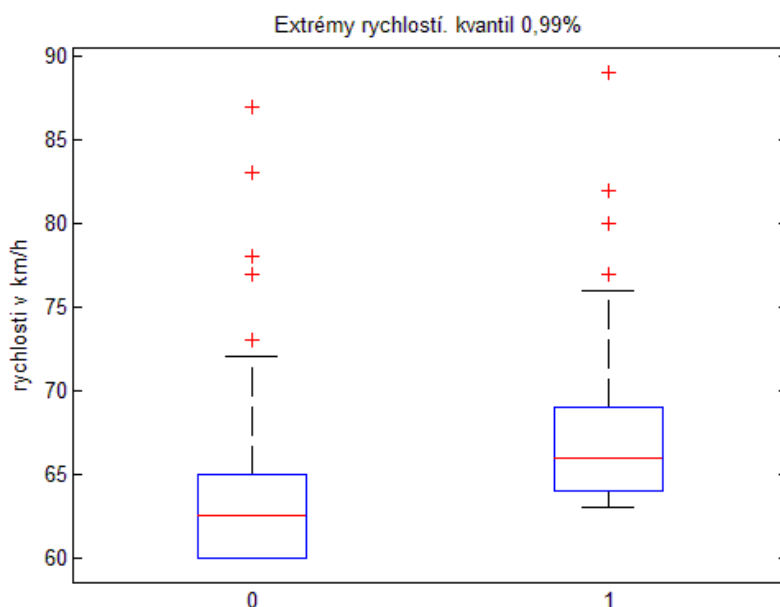
Jargue-Berův test zamítl normalitu a dvouvýběrový Wilcoxonův test zamítl i stejné distribuční funkce rozdělení dat před a po odinstalování PR s p-value $1,14 \cdot 10^{-60}$. Po následném vypsání mediánů jsem zjistila, že medián rychlostí s PR byl 42 km/h a medián rychlostí bez PR byl 44 km/h. Změna tedy byla o pouhé dva km/h. Histogramy (obrázek 3) znázorňují tutéž situaci. Avšak jednou je zvýrazněný modrý histogram nad červený a po

druhé je tomu naopak. Modrý histogram popisuje rychlosti v km/h naměřených v době, kdy na ulici byl umístěn PR a červený histogram popisuje situaci, až byl PR odinstalován. Je tu patrné posunutí červeného histogramu do prava oproti modrému, což znamená, že řidiči v době, kdy tam PR nebyl, jezdili častěji vyšší rychlostí, než když tam PR byl.



Obrázek 3. Histogramy znázorňující tutéž situaci. Modrý histogram popisuje data naměřená na ulici Pasteurova v době s preventivním radarem a červený histogram popisuje data naměřená v době bez preventivního radaru. Je tu zřejmý posun červeného histogramu oproti modrému.

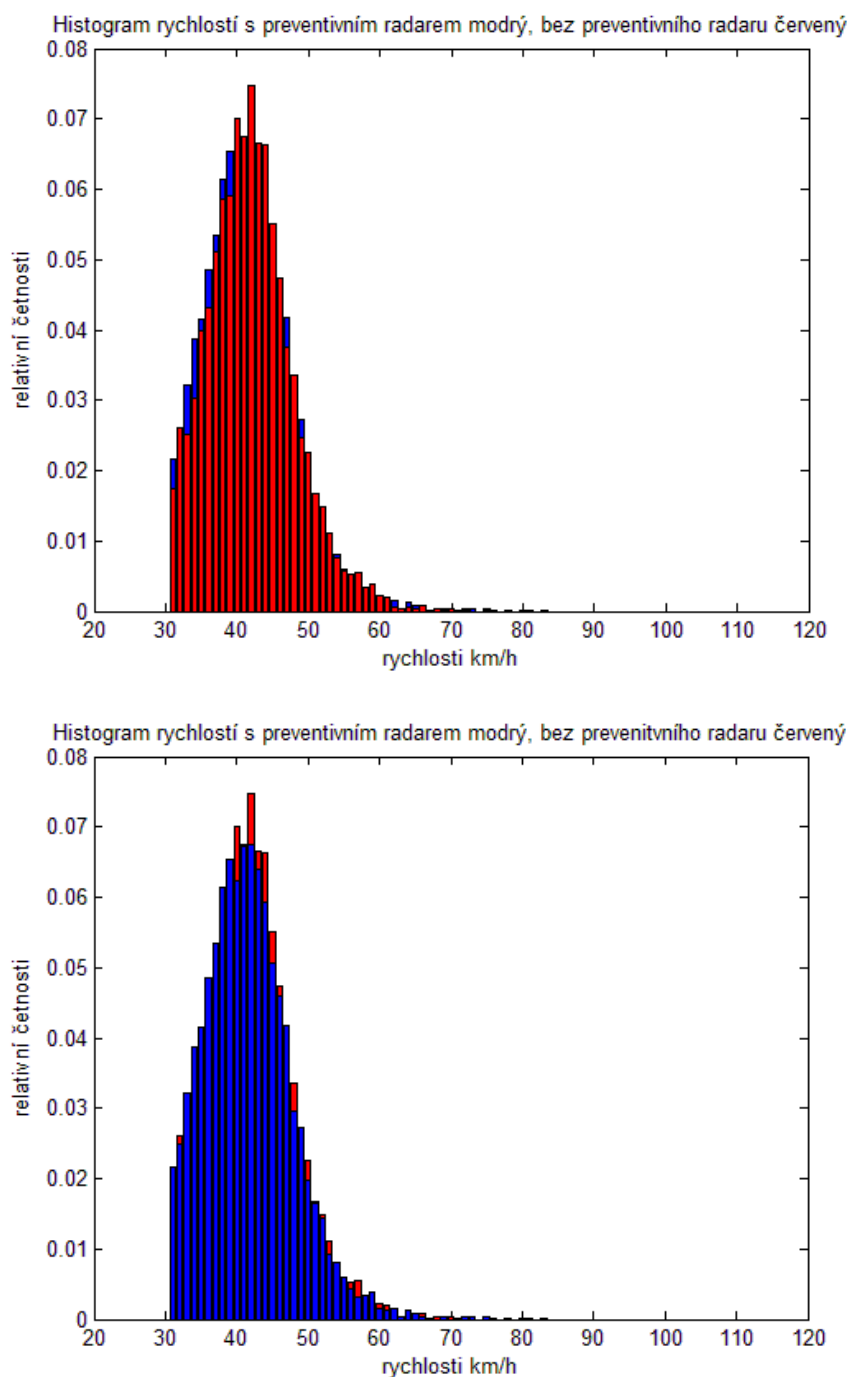
Po zaměření se na extrémní rychlosti při horním kvantilu 0,95 Wilcoxonův dvouvýběrový test zamítl nulovou hypotézu s p-value $4,43 \cdot 10^{-28}$. V době s PR bylo v tomto souboru 309 vozidel, bez PR 330 vozidel. Průměry hodnot byly 56,9 km/h (s PR) a 59,9 km/h (bez PR). Když jsem se zaměřila pouze na 1% nejrychlejších aut, tak mi dvouvýběrový Wilcoxonův test také zamítl nulovou hypotézu s p-value $4,76 \cdot 10^{-7}$. Tímto výběrem jsem získala vzorek 58 vozidel měřených v době s PR a 66 vozidel měřených v době bez PR. Průměry těchto hodnot byly 64,1 km/h (s PR) a 67,6 km/h (bez PR). Maximální naměřená hodnota v době s PR byla 87 km/h a 89 km/h v době bez PR. Proto na této ulici se nepotvrdila funkčnost PR ani v porovnání extrémních hodnot. Boxplot (krabicový graf) změn extrému při kvantilu 0,99 je znázorněn na (obrázek 4).



Obrázek 4. Na tomto boxplotu jsou znázorněny extrémní hodnoty z ulice Pasteurova při stanoveném horním kvantilu 0,99%. 0 představuje data naměřená s PR, 1 představuje data bez PR. Červená střední čárka značí medián, krabice značí 1. a 3. kvartil. Extrémní hodnoty představují úsečky a červené křížky jednotlivé extrémní hodnoty. Max. hodnota s PR byla 87 km/h a bez PR 89 km/h.

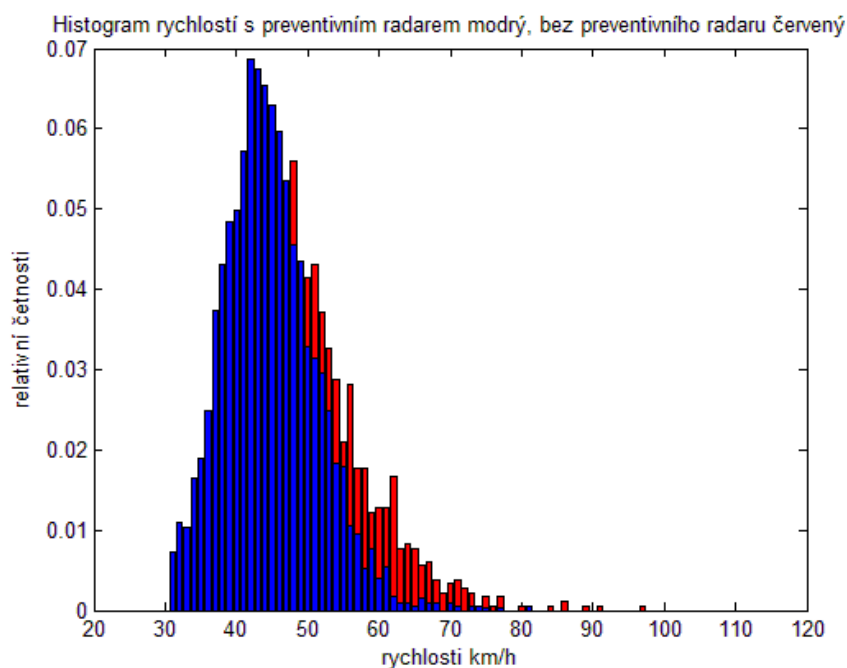
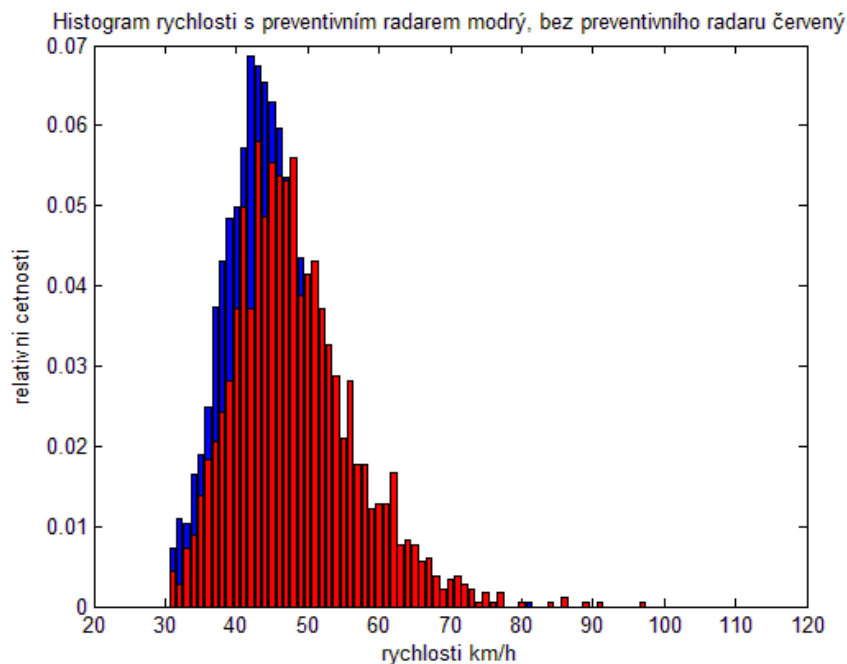
Nyní se zaměřím na data v opačném směru, než se měřilo. JB test zamítl normalitu a dvouvýběrový Wilcoxonův test zamítl rovnost distribučních funkcí těchto souborů. Po následném vypsání mediánů byly hodnoty 41 km/h s PR a 42 km/h bez PR. Mediány se liší tedy o 1 km/h, takže smím říci, že se hodnoty před a po odinstalaci PR od sebe moc nelišily. Díky této situaci mohu tedy potvrdit domněnku, že oba soubory naměřených dat

by měly být téměř stejné. Zajímavý je však fakt, že mediány hodnot v opačném směru, než se měřilo, jsou menší, než mediány hodnot ve směru s PR. Na této ulici to může být dáno tím, že skrytý radar byl umístěn před zatáčkou. Tedy v opačném směru vozidla zatáčkou právě projížděla a tím mohly být rychlosti vozidel menší. Histogramy jsou na (obrázku 5).



Obrázek 5. Histogram naměřených dat na ulici Pasteurova v opačném směru, než byl PR umístěn. Modrý histogram představuje data naměřená v době s PR a červený histogram znázorňuje data naměřená v době bez PR. Z obrázku je patrné, že histogramy si jsou velmi podobné. Mediány naměřených rychlostí se lišily pouze o 1 km/h.

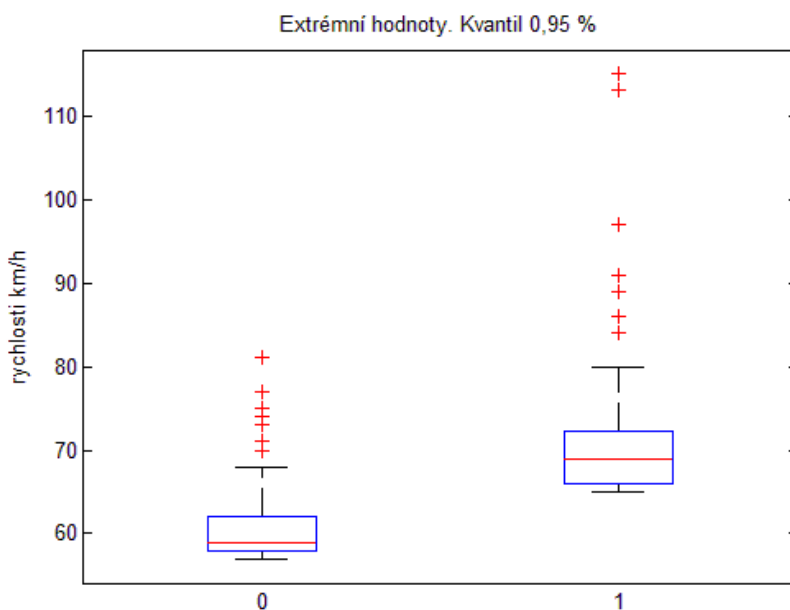
což může měření zkreslovat, proto na další ulici budu porovnávat oba případy, jak všední dny s víkendy, tak všední dny se všedními. Pro znázornění jsou níže uvedené histogramy (obrázek 7), které opět popisují stejnou situaci. Modrý histogram představuje rychlosti s PR, červený rychlosti naměřené v době bez PR. Je patrné, že v případě, kdy na ulici byl umístěn PR, tak je větší četnost vozidel, kteří jely nižší rychlostí než 50 km/h. To ale právě může být dáno nižší frekventovaností na silnici během víkendu.



Obrázek 7. Histogram naměřených rychlostí na Třídě Svornosti. Modrý histogram znázorňuje hodnoty naměřené v době s PR, červený v době bez PR.

V případě extrémních hodnot jsem opět porovnávala 5% a 1 % nejrychlejších aut. Nejprve jsem zkoumala kvantil 0,99. Celkově jsem tedy dostala 49 aut, z toho 32 s PR a 17 bez PR. Dvouvýběrový Wilcoxonův test zamítl nulovou hypotézu s p-value $2,99 \cdot 10^{-7}$. Střední hodnoty byly následující: 68,94 km/h s PR a 85,12 km/h bez PR. Jelikož 0,99 kvantil zabral pouze 49 nejrychlejších aut, rozhodla jsem se otestovat i kvantil 0,95. Tímto výběrem jsem získala celkově 227 dat, z toho 142 s PR a 85 bez PR. Střední hodnoty těchto souborů byly 61,16 km/h (s PR) a 71,47 km/h (bez PR). Dvouvýběrový Wilcoxonův test nám zamítl nulovou hypotézu o stejných distribučních funkcích obou rozdělení s p-value $1,13 \cdot 10^{-24}$.

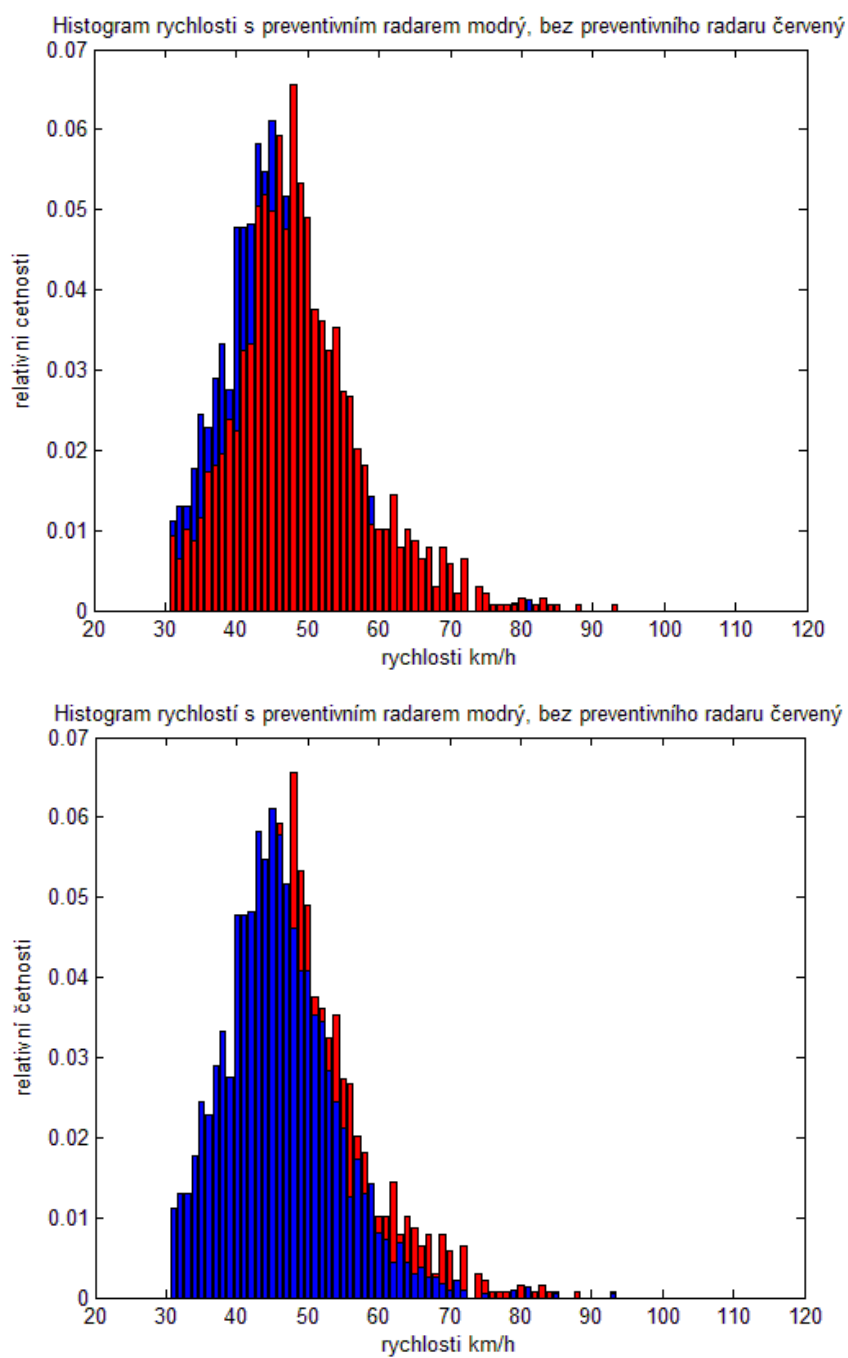
Na této ulici je velice patrný rozdíl v extrémních hodnotách. V době, když byl PR umístěn na ulici, byla maximální naměřená hodnota 81 km/h. V opačném případě kdy PR nebyl na dané ulici, byla maximální naměřená hodnota 115 km/h. V tomto případě tedy můžeme říci, že se pozitivní přínos preventivního radaru v extrémních hodnotách potvrdil. Pro znázornění uvádím boxplot s 0,95 kvantilem (obrázek 8)



Obrázek 8: Boxplot uvádějící 5 % nejrychlejších aut. 0 představuje data naměřená s PR a 1 data bez PR. Střední hodnota dat (červená čárka) s PR byla 61,16 a bez PR 71,47.

Na této ulici mě překvapila naměřená data v opačném směru. Oba testy nám zamítly své hypotézy. Medián dat naměřených v době s PR byl 45 km/h a v druhém případě byl 48 km/h. Tedy rozdíl byl 3 km/h. Je to tedy stejný rozdíl v mediánech u obou

případů, beru –li směr, ve kterém jsem měřila a opačný směr. Histogram obou souborů je vyobrazen na (obrázku 9).



Obrázek 9. Histogram popisující naměřené hodnoty v opačném směru, než byl umístěn PR, v době s PR (modrý histogram) a v době bez PR (červený histogram). Mediány hodnot byly v prvním případě 45 km/h a ve druhém 48 km/h.

2.4. Ulice Jeremenkova

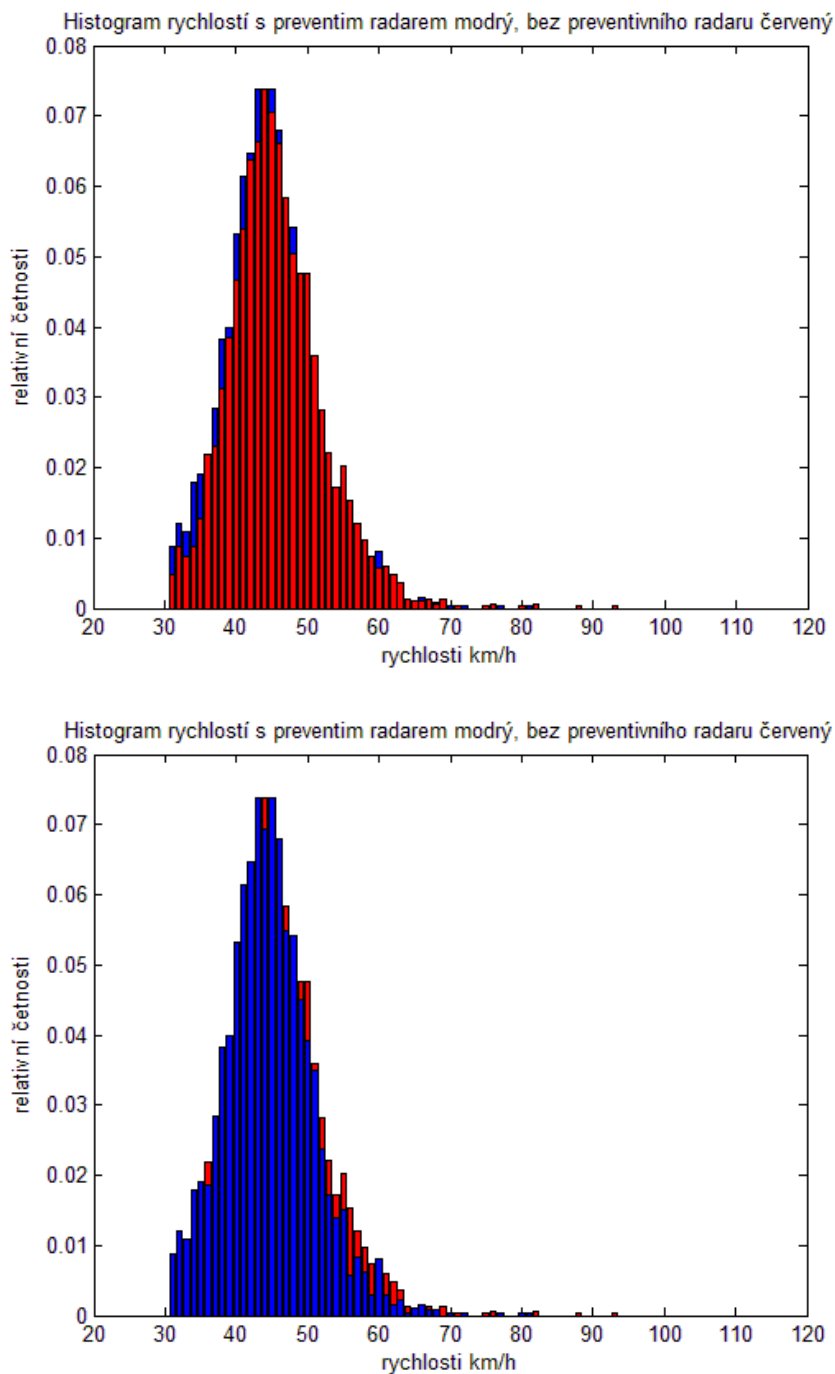
Ulice Jeremenkova se nachází nedaleko hlavního vlakového nádraží, kde je maximální povolená rychlost 50 km/h, jedná se o poměrně dlouhou, rovnou frekventovanou ulici (obrázek 10). Měření probíhalo od 28.11 do 4. 12. 2011. Skrytý radar byl připevněn ve stejném směru jako PR ve vzdálenosti 3m. PR zde byl umístěn poměrně krátkou dobu a to pouze dva dny (28. 11. až 29. 11.). Proto se mi naskytla možnost porovnat jak všední dny se všedními, tak všední dny s víkendem.



Obrázek 10. Plán města Olomouce. Červeně zvýrazněná je ulice Jeremenkova, na které probíhalo měření. Červený puntík značí umístění PR, zelený značí skrytý radar.

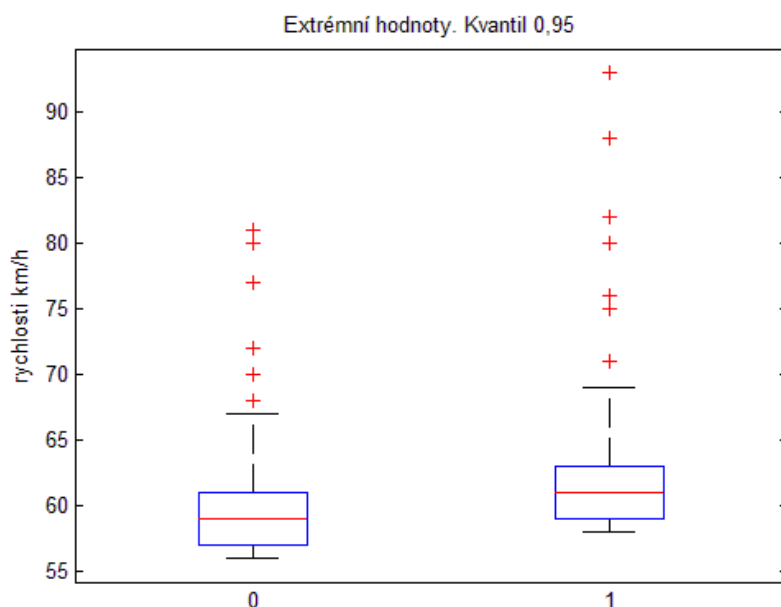
V případě všední dny se všedními byl vybrán časový interval pondělí 15:00 do úterý 11:00 a ve stejném čase ve dnech středa až čtvrtek. Celkově bylo získáno 11 481 dat, z toho 5 620 s PR a 5 861 bez PR. Obě hypotézy byly zamítnuty a po vypsání mediánu byly zjištěny hodnoty 44 km/h a 45km/h. Hodnoty se od sebe liší pouze o 1 km/h, tedy

v tomto případě se funkčnost PR více méně nepotvrdila. Na níže uvedených histogramech (obrázek 11) můžete vidět, že oba histogramy (červený a modrý) jsou hodně podobné a téměř vyrovnané. Výsledky z ulice Jeremenkova mne celkem zklamaly, protože tato ulice se jevila jako velmi slibná. Není situována až tak blízko centru, je poměrně dlouhá se širokými pruhy. Očekávala jsem tedy vyšší medián naměřených hodnot v době bez PR.



Obrázek 11: Histogramy rychlostí. Modrý představuje rychlosti naměřené s PR a červený rychlosti naměřené bez PR. Histogramy se více méně překrývají, jejich mediány se liší pouze o 1km/h.

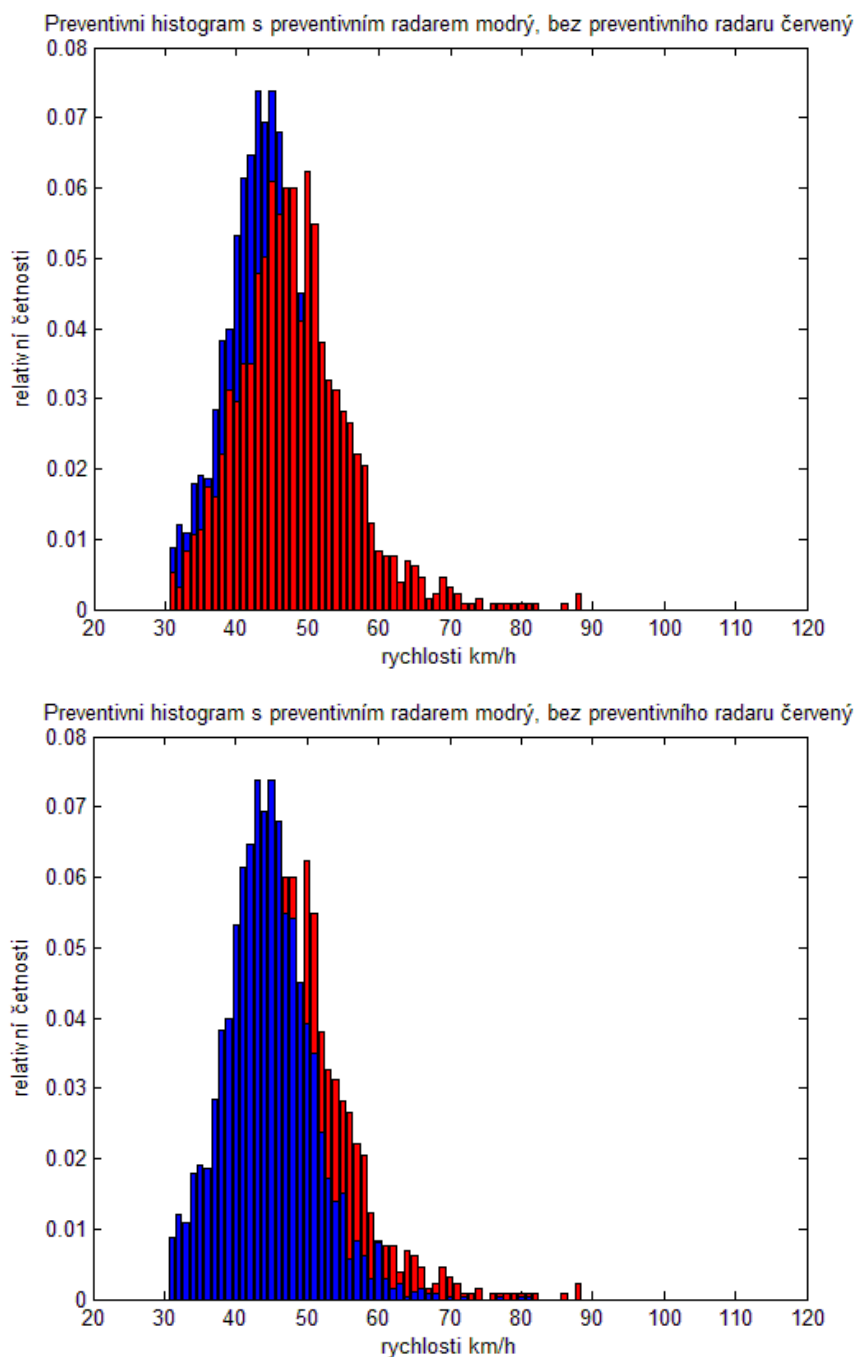
Po zaměření se na extrémní hodnoty s kvantilem 0,95 Wilcoxonův dvouvýběrový test zamítl nulovou hypotézu s p-value $2,12 \cdot 10^{-6}$. Celkově jsem tímto výběrem získala 261 dat, z toho 121 s PR a 140 bez PR. Střední hodnoty těchto dvou měření byly 60,1 km/h (s PR) a 62,2 km/h (bez PR). Rozdíly nebyly moc výrazné, proto jsem opět zkusila provést test i na 0,99 kvantilu. V tomto případě Wilcoxonův dvouvýběrový test zamítl nulovou hypotézu s p-value $2,4 \cdot 10^{-9}$. Tímto výběrem jsem získala 56 aut, z nich 27 s PR a 29 bez PR. Střední hodnoty naměřených hodnot byly 66,63 km/h (s PR) a 70,76 km/h (bez PR). Zde už je patrnější rozdíl mezi středními hodnotami. Maximální rychlost naměřená v době s PR byla 81 km/h a ve druhém případě 93 km/h. Na (obrázku 12) se můžete podívat na extrémní hodnoty při kvantilu 0,95.



Obrázek 12. Boxplot dat naměřených na ulici Jeremenkova. 0 představuje data naměřená s PR a 1 data naměřená bez PR. Střední hodnoty byly 60,1 (s PR) a 62,2 (bez PR).

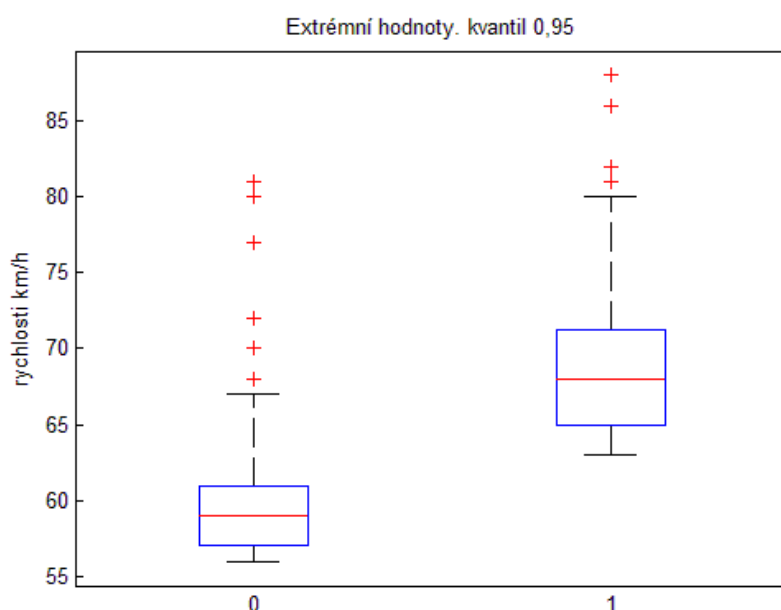
Pro porovnání všedních dnů s víkendem byl vybrán stejný časový interval jako v předchozím případě a to od pondělí 15:00 do úterý 11:00 a sobota až neděle ve stejném časovém intervalu. Nyní byl získán soubor s počtem dat 8 147. Z toho 5 620 s PR a 2 527 bez PR. Mediány rychlostí naměřených s PR byl 44 km/h a medián bez PR byl 47 km/h. Změna je tedy o 3 km/h. Rozdíl mezi mediány je tedy větší jak v porovnání všedních dnů se všedními. Může to být dáno stejnou situací jak na Třídě Svornosti a to, že o víkendech je nižší frekventovanost vozidel. Na (obrázku 13) uvádím opět histogramy naměřených

hodnot. Na histogramu si lze všimnout zajímavosti a to velký propad relativních četností na hodnotě 50 km/h. Propad na hodnotě 50 km/h je i na třídě Svornosti, ale na ulici Jeremenkova je tento pokles relativních četností výraznější. Tato situace nastává pravděpodobně tím, že většina řidičů nejezdí přímo 50 km/h. Ale proč se tomu tak děje nejvíce o víkendech si nedokážeme vysvětlit.



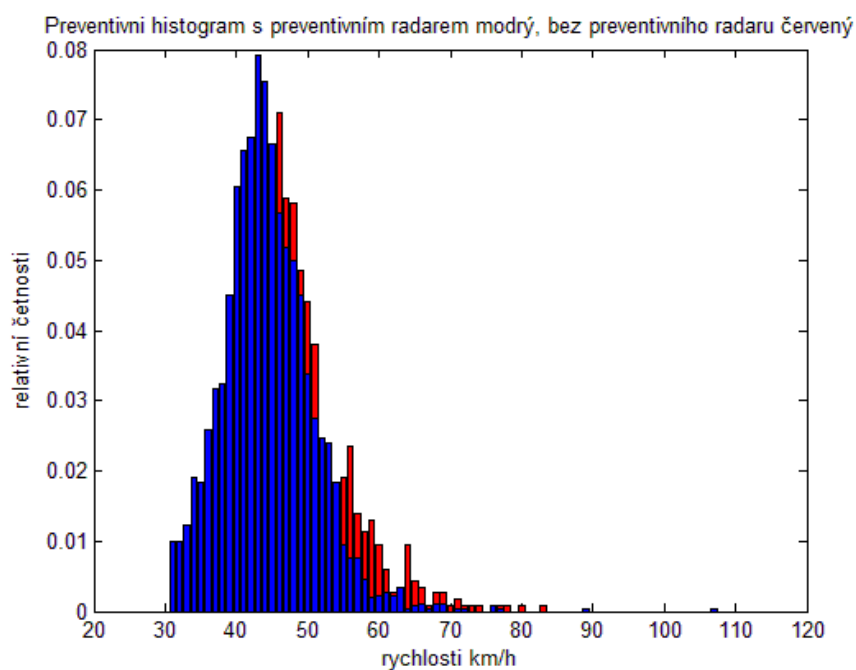
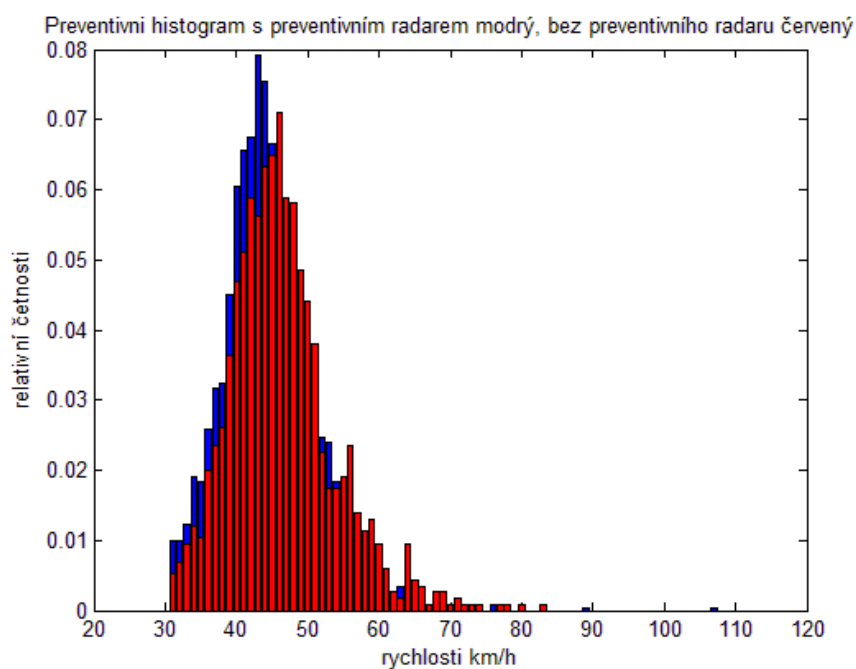
Obrázek 13. Histogramy znázorňující rychlosti naměřených s PR ve všední dny (modrý histogram) a dat naměřených bez PR během víkendu (červený histogram) na ulici Jeremkova. Mediány naměřených hodnot se lišily o 3 km/h.

Extrémní hodnoty v případě kvantilu 0,95 (obrázek 14) Dvouvýběrový Wilcoxonův test zamítl nulovou hypotézu s $p\text{-value } 5,82 \cdot 10^{-21}$. Celkově bylo dat 182 dat, z toho 121 s PR a 61 bez PR. Po následném vypsání průměrů byly hodnoty 60,1 km/h (s PR) a 69,6 km/h (bez PR). Rozdíl byl tedy zhruba 9 km/h. Preventivní radar tedy ovlivnil rychlosti 5 % nejrychlejších vozidel. Maximální naměřená hodnota v době s PR byla 81 km/h a v době bez PR 88 km/h. Pokud se zaměříme na kvantil 0,99. Pak získáme pouhých 40 dat, z toho 27 s PR a 13 bez PR. Wilcoxonův dvouvýběrový test zamítl nulovou hypotézu s $p\text{-value } 5,04 \cdot 10^{-4}$. Průměrné hodnoty byly 66,6 km/h (s PR) a 80,9 km/h (bez PR). V tomto případě je rozdíl mezi průměrnými hodnotami vyšší a to o více jak 10 km/h.



Obrázek 14. Boxplot extrémních hodnot na ulici Jeremenkova naměřených ve všední dny a o víkendy. 0 představuje data naměřená v době s PR a 1 data bez PR. Průměrné hodnoty byly 60,1 km/h (s PR) a 69,6 km/h (bez PR).

Výsledky z opačného směru, než ve kterém se měřilo, jsou velmi uspokojivé. JB test nám sice zamítl normalitu, ale dvouvýběrový Wilcoxonův test nezamítl nulovou hypotézu, že distribuční funkce obou souborů jsou stejné a vypsál $p\text{-value } 0,4619$. Mediány obou souborů jsou stejné a to 44 km/h. Na této ulici se nám tedy plně potvrdila domněnka, že v opačném směru než byl umístěn PR, by neměl být rozdíl mezi daty před a po odinstalaci PR. Histogram těchto dat je uveden na (obrázku 15).



Obrázek 15. Histogram dat naměřených v opačném směru, než byl umístěn preventivní radar, na ulici Jeremenkova. Modrý histogram znázorňuje data naměřená v době s PR ve všední dny a červený histogram data naměřená v době bez PR během víkendu. Mediány obou souborů byly 44 km/h.

3. Závěr

Mými cíli bylo nasbírat data, provést testování hypotéz v programu Matlab a zjistit, zda preventivní radary mají smysl, tedy, že pozitivně ovlivňují rychlosti řidičů. Z mého měření na ulicích Pasteurova, Jeremenkova a třídě Svornosti můžu říci, že účinnost preventivních radarů se nepotvrdila, pokud se zaměřím pouze na průměrné hodnoty. Avšak preventivní radary pozitivně ovlivňují extrémní hodnoty. Řidiči tedy při spatření preventivního radaru spustí nohu z plynu, pokud jedou vyšší rychlostí. Mým názorem ale je, že preventivní radar umístěný na ulici nedaleko centra, nepřináší větší význam. Protože jak z mého měření plyne, všechny mediány byly nižší jak 50 km/h. Většinou totiž řidiči ani nemají možnost jet rychleji, nejen kvůli semaforům, ale i rušné dopravě. Při zpracování mé práce jsem si říkala, že zajímavé výsledky by mohly být z preventivních radarů, které jsou umístěny při vjezdu do města nebo na silnicích, které jsou na okraji města, ne v centru. Další zajímavostí by bylo porovnat výsledky preventivních radarů při vjezdech do měst v různých krajích a poté porovnat výsledky naměřené z centra a z vjezdů do měst. Bylo by to podle mě zajímavé téma na další práci.

Nejen, že mne vypracování bakalářské práce bavilo, ale zároveň pro mě byla přínosem. Mohla jsem si procvičit testování hypotéz a díky zpracování v programu Matlab jsem získala nové vědomosti. Také jsem se díky mé bakalářské práci mohla zúčastnit jednodenní stáže na Centru dopravního výzkumu (CDV) v Brně, která pro mě byla velkou zkušeností a dozvěděla jsem se mnoho dalších informací o tom, na čem všem CDV pracuje. Práce na dopravní téma mě velice zaujala a právě proto možná využiji nabídky dlouhodobé stáže na CDV v Brně, kterou bych poté mohla využít při psaní diplomové práce v magisterském studiu.

I když byly problémy se sběrem dat a skrytý radar nebyl nejlehčí na manipulaci, tak mne tato činnost na praktické části nejvíce bavila. Vyzkoušela jsem si díky tomu i sčítání dopravy a obdivuji pracovníky z CDV, kteří to stíhají vše do listů zapisovat. Do těchto listů se totiž zapisuje nejen, jakým směrem vozidlo projedlo, ale rozlišují se i kategorie aut. Já měla na to pomocníka, který značil opačný směr než já, a i tak jsme trochu nestíhali.

Odpovědi řidičů z okolí Olomouce se neshodují s výsledky mého měření. Z dotazníku, který je uveden na konci mé bakalářské práce, je patrné, že celkově zpomalí 93 % lidí a na danou hodnotu 50 km/h zpomalí 57 % lidí. Z mého měření plyne, že i když řidiči tvrdí, že zpomalují, ve skutečnosti tomu tak nemusí být. Ale to může být dáno tím, že každému člověku se při zmínce preventivního radaru vybaví ten radar, který je umístěn při

vjezdech do města a ne radar na ulici ve městě. A tím mohou být výsledky dotazníku a měření odlišné.

Závěr tedy zní, že preventivní radary umístěné na ulicích v městě Olomouc nemají v průměru až tak pozitivní vliv na snížení rychlosti, neboť mediány hodnot dat před a po odinstalaci preventivního radaru se lišily v průměru maximálně o 3 km/h.

4. Dotazník

Součástí mé bakalářské práce je i dotazník. Chtěla jsem porovnat výsledky měření s odpověďmi řidičů. Ptala jsem se lidí v okolí Olomouce. Dotazník tvořily pouhých 5 otázek.

Vzor:

1) Jste řidič?	Ano	Ne	
2) Muž	Žena		
3) Když řídíte auto a spatříte umístěný preventivní radar na ulici, zpomalíte?	Ano	Ne	Nejsem řidič
4) Zpomalíte na danou hodnotu? V našem případě 50 km/h.	Ano	Ne	Nejsem řidič
5) Věk :	18-29	30-59	60 ->

Celkově jsem dostala 100 odpovědí, z toho 42 z kategorie 18-29 let, 52 z kategorie 30-59 let a 6 z kategorie 60 a výš. Nedostatkem dat ve skupině 60 a více jsem se rozhodla sloučit tuto skupinu s věkovou kategorií 30-59. Tímto sloučením mi vznikla věková kategorie 30 a více. Výsledky si můžete projít v tabulce:

	Věk: 18-29	
	muž	žena
Zpomalí	$\sum \text{ano}=13$	$\sum \text{ano}=24$
	$\sum \text{ne}=5$	$\sum \text{ne}=0$
Zpomalí na 50 km/h	$\sum \text{ano}=5$	$\sum \text{ano}=16$
	$\sum \text{ne} =13$	$\sum \text{ne}=8$

	Věk: 30 a více	
	muž	žena
Zpomalí	$\sum \text{ano}=30$	$\sum \text{ano}=26$
	$\sum \text{ne}=2$	$\sum \text{ne}=0$
Zpomalí na 50 km/h	$\sum \text{ano}=17$	$\sum \text{ano}=19$
	$\sum \text{ne} =15$	$\sum \text{ne}=7$

Pro srovnání odpovědí jsem hodnoty z tabulek převedla do procent. V obou věkových kategoriích jsem rozlišila mužskou a ženskou populaci. Ve věku 18-29 odpovědělo celkem 18 mužů a 24 žen. Ve věku 30 a více let odpovídalo na otázky 32 mužů a 26 žen.

Ve věku 18-29 odpovědělo 72,2 % mužské populace, že zpomalí, ale pouhých 27,8 % zpomalí na danou 50 km/h. Podle žen zpomalí 100 % z nich a na danou hodnotu 50 km/h zpomalí 66,6 % žen. Z mého průzkumu je vidět, že ženy jsou zodpovědnější ve zpomalování rychlostí, pokud uvidí preventivní radar na ulici. Celkově zpomalí 88,1 % a na danou hodnotu zpomalí 50 %.

Ve věku 30 a více let bych předpokládala vyšší procento mužů, kteří zpomalí, oproti mužům ve věku 18-29. Podle odpovědí 93,75 % mužů zpomalí a 53,13 % z nich zpomalí i na danou hodnotu. Moje domněnka tedy byla potvrzena. U žen je to velice podobné jako v předchozím případě. 100 % z nich uvedlo, že vždy zpomalí a 73,1 % zpomalí i na danou hodnotu 50 km/h. V této věkové kategorii celkově zpomalí 96,6 % a na danou hodnotu zpomalí 62,1 %.

Pokud bych data nerozlišovala podle mužů, žen ani podle věkových kategorií, tak celkově zpomalí 93 % lidí, a na danou hodnotu 50 km/h zpomalí pouze 57 % lidí.

Nyní zkusíme otestovat hypotézu, že muži a ženy odpovídají rozdílně. Z odpovědí jsem vytvořila 2 kontingenční tabulky 2x2 (zpomalí/nezpomalí - muž/žena a zpomalí na 50km/h/nezpomalí na 50km/h - muž/žena). Data jsem sloučila do jedné věkové kategorie 18 a více. Jako nulovou hypotézu si stanovíme, že odpovědi mužů a žen se neliší. V případě, kdy bereme hodnoty zpomalí/nezpomalí, tak $\chi^2 = 7,53$. Nulovou hypotézu zamítáme v případě, kdy $\chi^2 \geq \chi_1^2(1-\alpha)$. V mém případě $\chi_1^2(0,95) \doteq 3,84$, proto nulovou hypotézu zamítám (tabulka 1).

	<i>muž</i>	<i>žena</i>	
<i>zpomalí</i>	43	50	93
<i>nezpomalí</i>	7	0	7
	50	50	100

Tabulka 1: Kontingenční tabulka porovnávající hodnoty zpomalí/nezpomalí a muž/žena.

Ve druhém případě (tabulka 2), kdy se zaměřuji na hodnotu 50 km/h, vyšel $\chi^2 = 6,9$. Opět je $\chi^2 > \chi_1^2(0,95)$ a proto nulovou hypotézu zamítáme. V obou případech lze říci, že muži a ženy odpovídají rozdílně.

	<i>muž</i>	<i>žena</i>	
<i>zpomalí na 50 km/h</i>	21	32	53
<i>nezpomalí na km/h</i>	26	15	41
	47	47	94

Tabulka 2: Kontingenční tabulka hodnot ve věkové kategorii 30 a více let.

Nyní otestuji nulovou hypotézu, že odpovědi mužů v různých věkových kategoriích se neliší a to samé pro ženy (tabulka 3, tabulka 4). V případě mužské populace vyšel $\chi^2 = 3,00$. Tato hodnota je nižší jak $\chi_1^2(0,95)$ a proto nulovou hypotézu nezamítáme. Testuji-li, jak odpovídaly ženy v různých věkových kategoriích, tak $\chi^2 = 0,24$. Proto nulovou hypotézu o homogenitě nezamítám a mohu říci, že odpovědi mužské i ženské populace v různých věkových kategoriích nebyly rozdílné.

	<i>Muž (18-29)</i>	<i>Muž (30 - více)</i>	
<i>Zpomalí na 50 km/h</i>	5	17	22
<i>Nezpomalí na 50 km/h</i>	13	15	28
	18	32	50

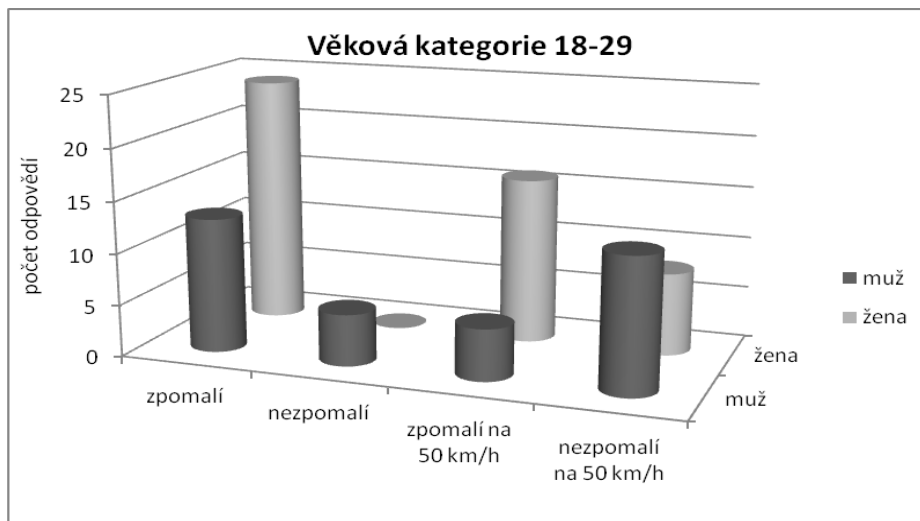
Tabulka 3. Kontingenční tabulka hodnot mužské populace v různých věkových kategoriích.

	<i>Žena (18-29)</i>	<i>Žena (30 - více)</i>	
<i>Zpomalí na 50 km/h</i>	16	19	35
<i>Nezpomalí na 50 km/h</i>	8	7	15
	24	26	50

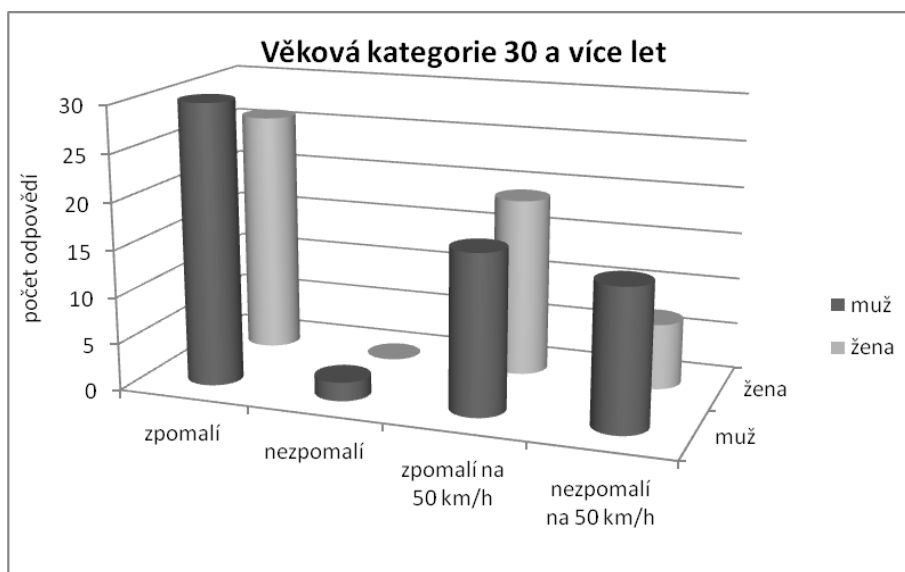
Tabulka 4. Kontingenční tabulka hodnot ženské populace v různých věkových kategoriích.

Souhrnně lze říci, že ženy se zdají zodpovědnější ve zpomalování své rychlosti v případě spatření preventivního radaru oproti mužům. Výsledky dotazníku neodpovídají výsledkům z měření. Jak je uvedeno v závěru, tato skutečnost může být dána tím, že každému člověku se při zmínce preventivního radaru vybaví ten radar, který je umístěn při

vjezdech do města a ne radar na ulici ve městě. Také to může být tím, že lidé málokdy říkají pravdu.



Graf 1. Věková kategorie 18-29 let. Celkově odpovědělo 42 lidí, z toho 18 mužů a 24 žen. Z 13 mužů, kteří zpomalí, zpomalí na danou hodnotu 50 km/h pouhých 5. Z 24 žen, zpomalí na danou hodnotu 16 z nich.



Graf 2. Věková skupina 30 a více let. Celkově odpovědělo na otázky 58 lidí, z toho 32 mužů a 26 žen. Z 32 mužů, kteří zpomalí při spatření preventivního radaru, zpomalí na danou hodnotu 17 z nich a z 26 žen, kteří zpomalí, zpomalí i na danou hodnotu 19 z nich.

5. Reference

- [1]...Městská policie Olomouc. Preventivní radar Viasis 3000. [online].14. září 2010. [28.11.2011]. Dostupné na: <[http://www.mpolomouc.cz/doprava_parkovani/mereni-rychlosti_\(cesky\)?article_id=3432](http://www.mpolomouc.cz/doprava_parkovani/mereni-rychlosti_(cesky)?article_id=3432)>
- [2]...Observatoř bezpečnosti silničního provozu. Vyhodnocení efektivity použití figurín v Lipníku nad Bečvou. [online]. Duben 2007. [9.8.2011]. Dostupné na < <https://secure.cdv.cz/wwwroot/observ.php?id=460>>
- [3]...Anděl J., Základy matematické statistiky, Matfyzpress, 1.vydání, Praha 2005
- [4]...Kunderová Pavla, Základy pravděpodobnosti a matematické statistiky., 1. Vydání, Olomouc 2004
- [5]...Wikipedie-testování statistických hypotéz, [online],[20.3.2012] dostupné na:<http://cs.wikipedia.org/wiki/Testov%C3%A1n%C3%AD_statistick%C3%BDch_hypot%C3%A9z>
- [6]...Wikipedie-jarque berra test, [online], [18.2.2012], poslední aktualizace[17.2.2012 v 21:36], dostupné na: <http://en.wikipedia.org/wiki/Jarque%E2%80%93Bera_test>
- [7]...Anděl J., Matematická statistika, SNTL/Alfa, Praha 1978