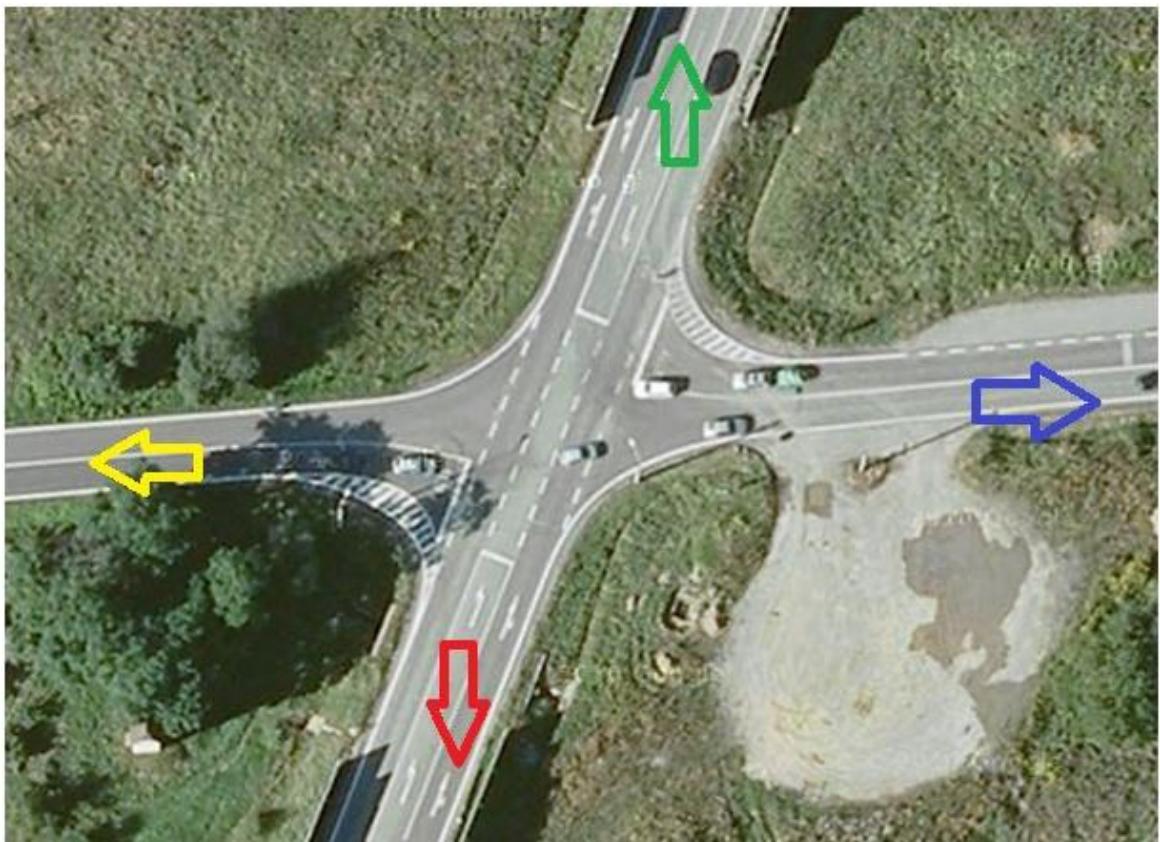


## 7.1 Vymezení objektu poznání

Pro ukázkou dané problematiky byla vybrána ne vždy vhodně fungující křižovatka. Křižovatka nebyla navržena na současný provoz, jelikož v době jejího vystavění nebyla v provozu automobilka Hyundai s téměř 3500 zaměstnanci, kteří tuto křižovatku hojně využívají cestou na směnu. Za běžného denního provozu křižovatce nelze až tolik vytknout. Situace se však změní při špičce, kdy začnou lidé jezdit z práce (Hyundai). Tato špička nastává s ohledem na trojsměnný provoz 6x denně, protože auta v jinou dobu přijíždějí, než odjíždějí ze směn. Další nevýhodou je, že křižovatka nebyla původně stavěna na přípoj na dálnici, který jí také vytěžuje.



Obrázek 15 - Popis křižovatky [23]

### 7.1.1 Popis křížovatky

- Příjezd/výjezd z Nošošovic/hydaie
- Příjezd/výjezd z obce Dobrá
- Příjezd/výjezd z obce Vojkovice
- Příjezd/výjezd z dálnice, obce Pazderná
- hlavní cesta vede mezi červeným a zeleným označením

#### Problémy této křížovatky:

- Časté havárie – řidiči jsou nervózní
- Řidiči čekají ve špičce i 5 minut v řadě, slabší řidiči nebo velké vozy nemají šanci vyjet
- Autobusy naberozpoždění (přijíždí z vedlejší cesty)
- Příliš velká rychlosť řidičů jedoucích po hlavní cestě (obvykle mimo špičku)
- Neideální výhled díky protihlukovým bariérám (časté nehody kvůli nedání přednosti)

#### Cíle:

- Snížit nehodovost
- Pokusit se optimalizovat průjezd pro všechny strany

Z výše uvedeného je patrné, že jelikož se průtok vozů přes den poměrně často mění a křížovatka je poměrně jednoduchá, nelze provést úplnou optimalizaci, ale na některém místě lze stav vylepšit na úkor druhého - například světelná signalizace efektivně zvýší propustnost cesty na vedlejší komunikaci, ale omezí vozy na hlavní komunikaci. Nabízí se 2 řešení patrné na první pohled. První z nich může být semafor, který se přizpůsobí dennímu průtoku vozů a zvýhodní vozy z vedlejší silnice, aby měly možnost vyjet. Ten by mohl být nejlépe aktivní pouze ve špičce. Druhá možnost je kruhový objezd, který by také zvýhodnil vozidla přijíždějící z vedlejších silnic oproti současnemu stavu. Světelná signalizace oproti kruhovému objezdu zastaví provoz v zatíženém místě úplně. Nemusí to však znamenat menší průtok vozů, neboť kruhový objezd může neustále snižovat rychlosť vozidel a kolony se mohou tvořit větší. Další, méně intuitivní řešení, se může ukázat v průběhu simulační studie.

### **Vlastnosti kruhového objezdu**

- Plynulost provozu
- Dražší vybudování
- Omezení provozu při budování
- Neefektivní rozdelení poměrů přijíždějících aut
- Omezí nehodovost
- Neefektivní po většinu dne

### **Vlastnosti světelné křižovatky**

- Hned po kruhovém objezdu – nevýhoda
- Levnější vybudování
- Ne tak efektivní ve všech denních dobách (možnost vypnutí či úpravy časů)
- Minimálně 2 typy programů
- Omezí nehodovost
- Zpomalí jeden směr na úkor druhého více než kruhový objezd

## **7.2 Vymezení zkoumaného systému**

V této simulační studii nás zajímá pouze dopravní systém (ne ekologický, urbanistický, populační, ani žádný jiný).

Zvolená abstrakce (vozidla, značky, semafory, výsek cest daného úseku). Vstupními parametry budou jednotlivé četnosti vozidel.

Detailly jako typ motoru auta, barva vozidla nejsou brány na zřetel.

## **7.3 Vytvoření aktuální představy o systému**

Měření probíhalo 2x a to mimo špičku a ve špičce, pro porovnání údajů po dobu průběhu špičky cca 30 minut. Průjezd vozidel v jednotlivých pruzích je zaznamenán v následujících tabulkách. Nejpatrnější nárůst vozidel je v tabulce „z Nošovic“, kde přijíždí během špičky vůz každé 3 vteřiny. Vozy z vedlejších komunikací tedy nemají šanci přejet rovně nebo zabočit do leva. Lehký nárůst lze pozorovat i v ostatních tabulkách, ale tento

nárůst není nějak kritický a je spíše podobný běžnému stavu. Co se týče nákladních vozů tak ty míří povětšinou směrem na dálnici z automobilky Hyundai, nebo Polska (výjezd Vojkovice) a naopak. Autobusy naopak využívají spíše výjezdy z vedlejších komunikací.

**Tabulka 2 - četnost z Nošovic (Hyundaie)**

<b>Osobní vozy</b>	Vojkovice	Dobrá	dálnice	celkem
mimo špičku	15	35	87	137
špička	41	221	334	596
<b>Nákladní vozy</b>	Vojkovice	Dobrá	dálnice	celkem
mimo špičku	4	3	23	30
špička	5	5	26	36

**Tabulka 3 - četnost z dálnice**

<b>Osobní vozy</b>	Nošovice	Vojkovice	Dobrá	celkem
mimo špičku	114	43	48	205
špička	137	53	54	244
<b>Nákladní vozy</b>	Nošovice	Vojkovice	Dobrá	celkem
mimo špičku	14	10	9	33
špička	10	4	4	18

**Tabulka 4 - četnost z Dobré**

<b>Osobní vozy</b>	Nošovice	Vojkovice	dálnice	celkem
mimo špičku	21	56	24	101
špička	46	51	32	129
<b>Nákladní vozy</b>	Nošovice	Vojkovice	dálnice	celkem
mimo špičku	1	2	1	4
špička	2	2	2	6

**Tabulka 5 - četnost z Vojkovic**

<b>Osobní vozy</b>	Nošovice	Dobrá	dálnice	celkem
mimo špičku	2	37	40	79
špička	5	39	61	105
<b>Nákladní vozy</b>	Nošovice	Dobrá	dálnice	celkem
mimo špičku	2	1	2	5
špička	1	2	3	6

## **7.4 Realizace modelu**

### **7.4.1 Velikost plochy**

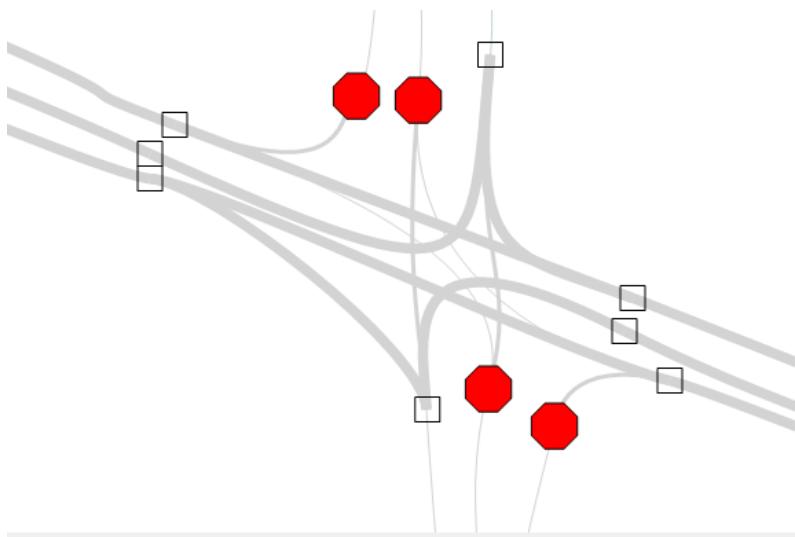
V modelu byla zachycena přibližně stejná velikost měřené plochy jako ve skutečnosti pomocí Google Maps - hlavní cesta zachycená na obrázku, se kterým simulace pracuje měří okolo 150 metrů, což odpovídá velikosti cest v modelu.

### **7.4.2 Rychlosť**

Křižovatka se nachází v obci, proto je rychlosť nastavena na 50km/h což odpovídá 13.8 m/s (program neumí desetinné čísla, proto je hodnota zaokrouhlena na 14 m/s)

### **7.4.3 Přednosti**

Jelikož se jedná o jednoduchou křižovatku, jsou zde pouze hlavní a vedlejší cesty. Hlavní mají nastavenou prioritu na 5, vedlejší mají prioritu 1. Výjimkou jsou přípojky vedlejších cest, které vedou rovně a přes křižovatku. Ty mají prioritu 2, aby měl program upřesněnou prioritu přednosti protijedoucích vozidel. Hlavní cesta je zvýrazněna tučněji. Značky STOP, které jsou na vedlejších cestách, jsou zobrazeny červeně (Obrázek 16).



Obrázek 16 - Přednosti

#### 7.4.4 Hustota provozu

Hustota provozu je nastavena podle provedeného výzkumu výše zapsaného v tabulkách (Tabulka 2 - četnost z Nošovic (Hyundaie). Jelikož lze do programu zapsat pouze údaje za hodinu, jsou tabulkové údaje vynásobeny 2x.



Obrázek 17 - Ukázka model s podkladem

#### Komentář

Momentálně je simulace nastavena podle naměřených a zjištěných údajů ve špičku provozu, neboť ta je pro tuto práci zajímavější. Jedná se však ještě o hrubý návrh, a

přestože se zadaly údaje přesné, tak nemusí korespondovat se skutečností. Návrh byl modelován za pomocí pozadí staženého z Google Maps zobrazeného za křivkami reprezentujícími cestu. Model tedy koresponduje jak rozměrově tak tvarově se skutečností.

## 7.5 Ověření správnosti modelu

V hrubém návrhu modelu jsou sice zadány pravdivé data, modelovaná situace však přesto neodpovídá realitě. Každý z dopravních simulačních programů používá jiné výpočetní metody, které mohou situaci zkreslovat, nebo naopak mohou řidiči ve skutečnosti porušovat předpisy, či jezdit jinak než je dovoleno/doporučeno. Příkladem může být tento model, kdy řidiči v reálu na hlavní cestě mohou porušovat maximální povolenou rychlosť, a naopak je nesmysl, aby vozidla odbočovala maximální povolenou rychlostí. Další nesrovonalostí v tomto modelu je agresivita vyjízdění z vedlejší cesty. V reálu vozidla obvykle nezrychlí během malé chvíle na maximální rychlosť, jako v tomto hrubém návrhu modelu. Dalším problémem je hustota provozu. Ta je sice nastavena přesně podle reality, v programu však s realitou příliš nekoresponduje a cesta se jeví jako stále volná. Vozidla tedy mohou z vedlejších cest bez problému vyjet. Z výše uvedeného je tedy patrné, že je model nepravdivý a je třeba provést validaci.

### 7.5.1 Korekce 1 – odbočování, rychlosti

Při odbočování z hlavní cesty je změněna rychlosť z 50km/h na 30km/h, protože vozidla v reálu zpomalují.

Při odbočování z vedlejší cesty je rychlosť změněna z 50km/h na 20km/h, protože musí v reálu být řidič obezřetný, musí se rozhlédnout a poté se rozjet. Výjimka je udělána u odbočování do leva z vedlejší komunikace, protože je tento jev nejrizikovější a vozidla často zůstala uprostřed křižovatky, neboť nestihla očekávané vyjetí.

### 7.5.2 Korekce 2 – hustota provozu

Tato korekce řeší problém hustoty provozu, která po zadání naměřených hodnot neodpovídá realitě a částečně tím kompenzuje agresivitu vyjízdění. Jelikož nelze vypnout, nebo změnit náhodné generování agentů, je změněn násobič vozidel na 1.2x a manuálně

upravena hustota vozidel především na hlavní komunikaci, pro vylepšení poměrů. Po této úpravě situace zhoustne a model se nejlépe blíží k reálné situaci. Tato korekce ovlivní model nejvíce ze všech a je tedy nejdůležitější.

### Převodní koeficienty pro získání údajů

tato tabulka se zabývá manuálními změnami v provozu. Na základě těchto je vypočítán koeficient pro přenesení modelu do reálného stavu.

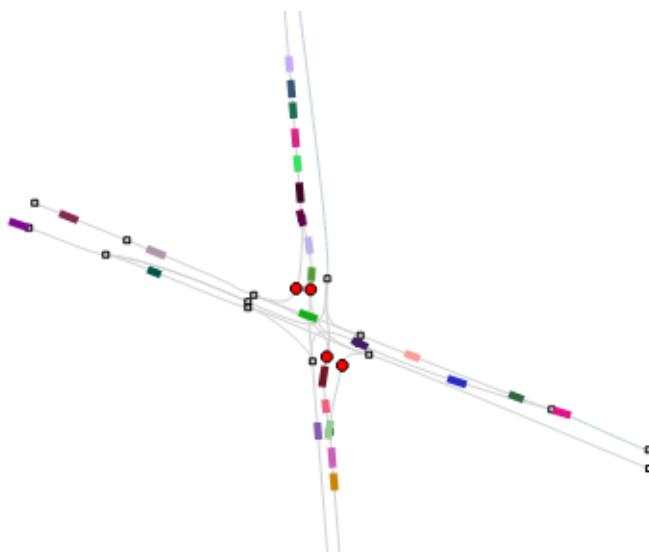
**Tabulka 6 - korekční tabulka**

Odkud	Celkový původní počet (aut/h)	Nový počet (aut/h)	Koeficient navýšení (zaokrouhleno)
Nošovice	1264	1542	1.22
Dobrá	270	260	0.96
Vojkovice	222	350	1.57
Dálnice	524	653	1.26

### 7.5.3 Nový stav

Po zhotovení korekcí se už model mnohem více přibližuje reálnému stavu. Nyní lze vidět, že model zobrazuje popisovaný stav z podkapitoly „Vytvoření aktuální představy o systému“. Na vedlejších cestách se tvoří kolony, které pomalu rostou a nemohou po delší dobu vyjet. Tuto situaci se budu snažit vyřešit v následující kapitole.

### Výsledek



**Obrázek 18 - Výsledek 1**

na tomto obrázku je zobrazen stav po testovaných 400 sekundách.

## 8 EXPERIMENTY S MODELEM

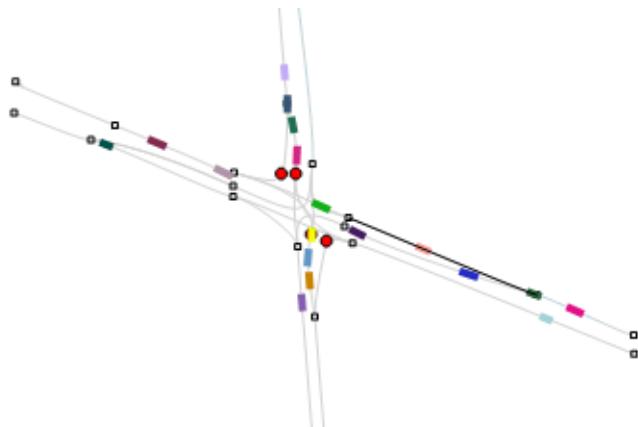
V této podkapitole je provedena simulace stejné křižovatky, ale s nějakým nápadem, který by mohl vyřešit situaci špičky. Je provedena pouze nadstavba na již hotovém modelu. Byly vybrány dvě řešení, které by mohly být zajímavé pro konečné porovnání. Za předpokladu, že je zavržena možnost strukturálních změn na křižovatce – například kruhový objezd, nabízí se další možnosti:

- Změna rychlosti
- Světelné signály

### 8.1 Změna rychlosti

Na první pohled by mohla situace svádět k zvýšení rychlosti na hlavní komunikaci. Tato změna však nevede k dobrému závěru, neboť by se ještě více znevýhodnily vozidla na vedlejší komunikaci, což je pravý opak. Navíc je velice pravděpodobné, že by se s rychlejší jízdou zvedla nehodovost. V modelu omezení rychlosti je využit pravý opak. Na hlavní komunikaci byla omezena rychlosť. Více efektivní je větší snížení rychlosti na 9m/s. Při rychlosti 11m/s (40km/h) lze pozorovat pouze malé, nebo spíše žádné zlepšení. Bohužel rychlosť 9m/s je pro provoz osobních automobilů poněkud problematický. Po většinu času je tento jev výhodou pro vozidla na vedlejší komunikaci, protože mají více času na rozjetí. Při použití varianty 9m/s se v některých situacích dokonce kolony téměř netvoří. Ne vždy však situace dopadne takto příznivě a výsledek může nastat dokonce horší, než byl v původním stavu. To záleží na konkrétní hustotě provozu. Další pozitivum je, že se tímto krokem moc neomezil provoz na hlavní komunikaci. Tato změna sice může jevit jako zajímavá volba, ale konečné výsledky ukázaly velkou nestabilitu tohoto řešení a výsledek je v globálu horší než na situaci momentálního stavu.

## Výsledek



Obrázek 19 - Výsledek 2

Na tomto obrázku je zobrazen, jak dopadl příznivý stav po testovaných 400 sekundách. Je patrné, že se kolona zmenšila téměř o 50%, při omezení rychlosti před křižovatkou na 9m/s. Bohužel ne vždy simulace dopadne v tomhle duchu a často se stává, že jsou kolony dokonce větší než v simulaci "momentální stav".

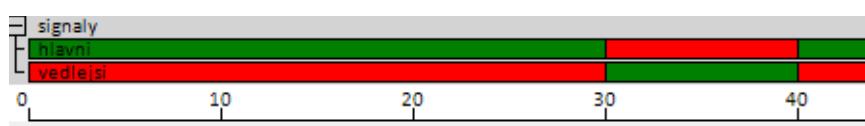
- + jednoduché zavedení do provozu
- + solidní efektivita vzhledem k jednoduchosti
- ne tak efektivní jako světelné signály
- výkyvy v hustotě dopravy mohou velmi zhoršit výsledek
- je třeba snížit rychlosť pod 35km/h aby se dosáhlo výsledku

## 8.2 Světelné signály

U této složitější situace je naopak žádoucí, aby vozidla využily maximální možné rychlosti 50km/h pro co nejrychleji opuštění křižovatky. Maximální rychlosť je proto nastavena na tuto mez. Ideálně by se měla světelná signalizace přizpůsobit běžnému provozu a špičce, nebo fungovat jen v požadovanou dobu, jako je zvykem ve městech noční/denní provoz. Tento model však zachycuje pouze situaci ve špičce (stejně jako ostatní vytvořené modely), která je nejzajímavější. Pro tuto menší křižovatku postačí signalizace jednodušší

a bez světelných šipek. Přesto i za použití této jednoduché signalizace je výsledek výborný a kolony se netvoří ani na jedné straně, přitom vozidla z vedlejších cest nemusí dlouho čekat. Další výhodou může být snížení nehodovosti, což je patrné i na ukázkové simulaci – nedochází k chybným výjezdům vozů, kdy si dotyčný agent „myslel“, že to stihne. Pro realističejší chování jsou vozidla při rozjezdu opět zpomaleny, aby nedosáhly maximální rychlosti na prvních pár metrech. Při použití této metodiky je schopna křižovatka snést podstatně větší zátěž, než při způsobu zpomalení provozu.

### Řízení



Obrázek 20 - Řízení signálů

Řízení světelných signálů probíhá jednoduše pomocí dvou stavů. 75% času je puštěn provoz na hlavní cestě, zbytek je nastaven na vedlejší komunikaci.

### Výsledek



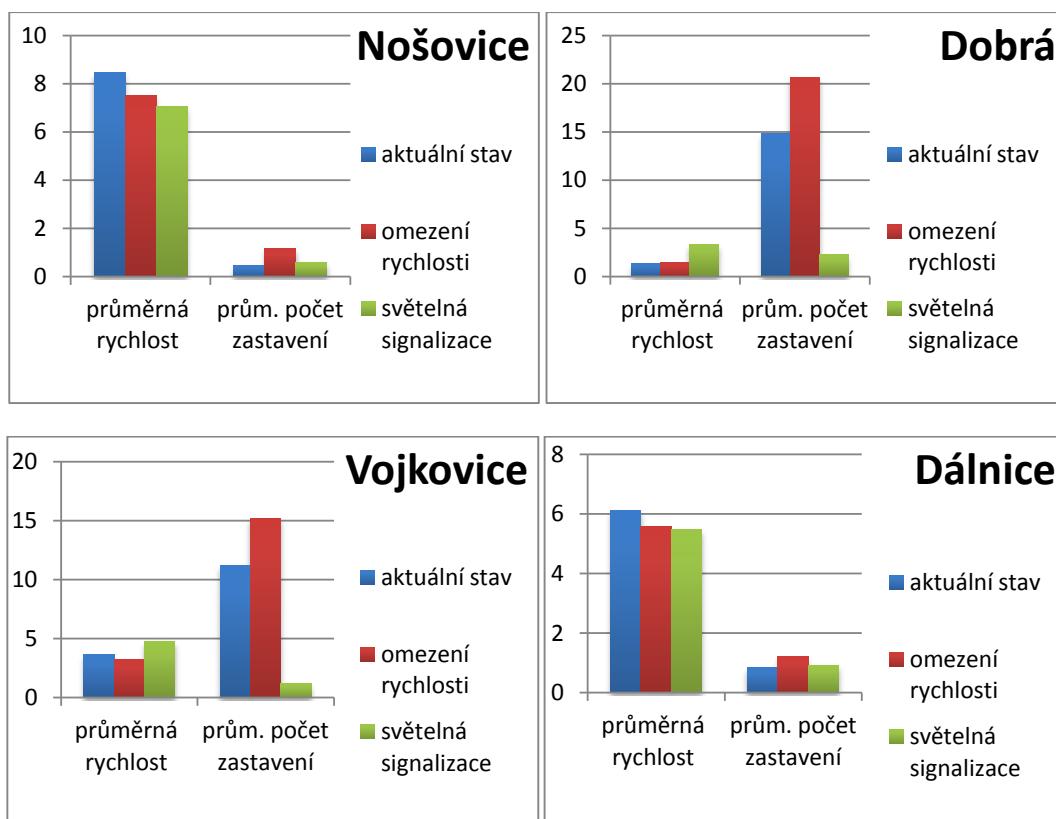
Obrázek 21 - Výsledek 3

Na tomto obrázku je zobrazen stav po testovaných 400 sekundách. Při použití světelných signálů se výsledek odvíjí od časového úseku, který směr má přednost. Přesto však na první pohled jasné, že je tento způsob naprosto s přehledem nejfektivnější.

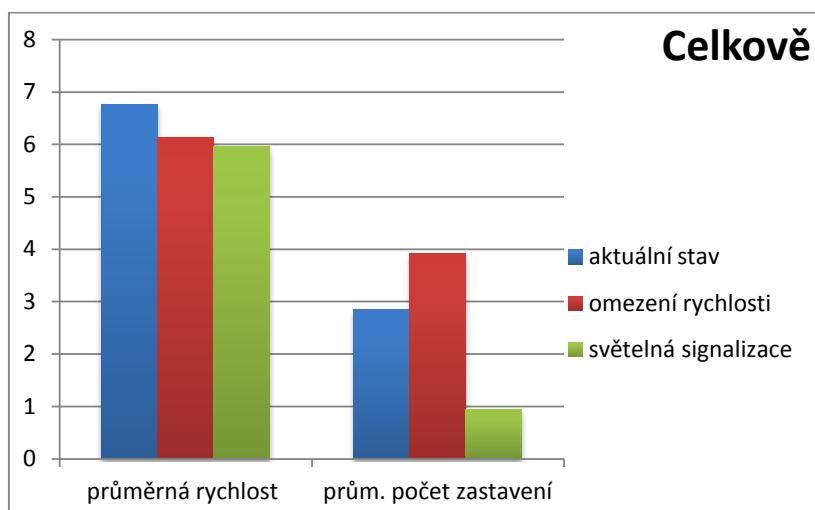
- + velmi efektivní
- + nemůže nastat stav, že by agent nemohl vyjet
- mimo špičku není potřeba řídit světelnými signály
- složitější řešení

### 8.3 Zhodnocení

V následujících grafech jsou zaznamenány nejdůležitější informace, které poskytuje nástroj na výpis statistik v CityTrafficSimulatoru. Průměrná rychlosť je měřena v metrech za sekundu. Počet zastavení zachycuje, kolikrát vozidlo muselo zastavit za dobu své jízdy. Grafy jsou založeny na informacích z přílohy (Příloha 1). Tyto informace jsou měřeny v testovaných 400 sekundách běhu simulace. Výsledky byly několikrát změny a provedeny vážené průměry těchto hodnot, protože každý výsledek se něčím liší, nebo může být nějaký způsobem extrémní. To je dáné náhodným generováním vozidel. Pro každý běh simulace, bylo nastaveno jiné náhodně zvolené random seed [7]. Jelikož byly provedeny korekce hustoty provozu, jsou tabulky přepočítány zpět na reálný stav pomocí vypočítaných koeficientů z tabulky (Tabulka 6) a použitým násobičem 1,2.



Obrázek 22 – Výsledky dílčích směrů v grafech



Obrázek 23 – Celkové výsledky v grafech

## 8.4 Konečné porovnání

Konečné porovnání vychází ze simulačních experimentů a jednotlivých pozorování chování jednotlivých modelů, výsledky jsou patrné na přiložených grafech (Obrázek 23) a tabulkách (Příloha 1).

Za původního stavu je na hlavní cestě dosahována nejvyšší průměrná rychlosť ze všech testovaných modelů, která je však vyšší pouze o necelý 1 metr za sekundu oproti ostatním modelům. Průměrný počet zastavení na vedlejší komunikaci je několikanásobný oproti hlavní komunikaci. Průměrný cestovní čas z vedlejších komunikací je taktéž na velice špatné úrovni. Na vedlejších komunikacích se tvoří kolony.

První experiment s omezením rychlosti může v některých situacích vést k lepšímu výsledku na dané křižovatce. Po celkovém sečtení výsledků však tato situace nenastává moc často a grafy ukazují, že je tato situace nejméně vhodná. Průměrná rychlosť je menší než za momentálního stavu a počet zastavení se zvýšil. Další nevýhodou je nutnost snížit rychlosť na 30 až 35km/h těsně před křižovatkou. Při použití vyšší rychlosťi 40km/h nebude popsané zlepšení znatelné a křižovatka se chová podobně jako za momentálního stavu. Na vedlejších komunikacích se tvoří někdy menší, ale častěji větší kolony než v modelu momentální stav. Proto toto řešení není příliš vhodné.

Druhý experiment se zapojením světelných signálů ukazuje výsledky zdaleka nejlepší (Obrázek 23). Kolony se netvoří vůbec - na zelenou projedou všechny čekající vozy ze všech směrů. Průměrná rychlosť je na hlavní silnici snížena jen nepatrně, na vedlejších komunikacích je však průměrná rychlosť nejlepší. Také průměrný počet zastavení je na vynikající hodnotě ve všech směrech (téměř 3x nižší než u modelu momentální stav). Cestovní čas se na vedlejších komunikacích snížil a na hlavní stoupil jen neznatelně. Toto řešení je nejlepší, není však nutné, aby světelné signály fungovaly celý den, když špička v provozu nastane většinou 3x až 6x denně.

Z výše uvedeného je jasné, že pokud bychom chtěli vybrat nejlepší situaci z námi testovaných, jsou světelné signály nejlepším řešením. Křižovatku vylepší téměř ve všech směrech i přes jejich jednoduchý program. Jedinou překážkou může být snad jen jejich dražší zavedení do provozu.

# ZÁVĚR

Na začátku této práce jsem se seznámil s problematikou dopravních simulací. Byly provedeny popisy důležitých algoritmů a principů, které využívají nástroje určené k simulaci dopravy a následně byly popsány vybrané programy pro simulaci dopravy. Následně na základě více kriteriálního výběru byl z popisovaných programů zvolen nástroj CityTrafficSimulator. V další kapitole byla popsána jeho funkčnost i ovládání. Hlavní část této práce pojednává o vytvoření simulační studie křižovatky v obci Dobrá u Frýdku-Místku. Vývoj této studie je postaven na obecném vývojovém algoritmu procesu simulace systému (Obrázek 14 - Vývojový diagram procesu simulace systému). Pro vytvoření této studie bylo nutné naměřit průjezdy vozidel z jednotlivých směrů, které byly vloženy do modelu. Po zkonztruování prvotního modelu jej bylo nutné validovat, protože neodpovídal realitě. Byly navrženy dvě korekce, které situaci přiblížily realitě. Dalším úkolem bylo navrhnout zlepšení současné situace. Byly provedeny dva pokusy. První pokus testoval omezení rychlosti provozu před křižovatkou. Toto omezení ukázalo, že se stav v některých situacích zlepšit může, ale po zprůměrování hodnot více pokusů vyšel tento pokus nejhůř. Druhý pokus testoval situaci po vybudování jednoduchých světelných signálů. Po tomto vylepšení nepatrн klesla průměrná rychlosť na hlavní komunikaci, ale provoz byl plynulý a kolony se netvořily.

Pro dokončení této práce bylo splněno několik dílčích kroků:

- Zjištěny informace o problematice dopravních simulací
- Vybrán vhodný nástroj pro řešení dané situace
- Zjištěny problémy křižovatky
- Spočítány průjezdy vozidel v jednotlivých směrech
- Naměřené údaje aplikovány do modelu
- Validace modelu
- Vytvořeny pokusy, za účelem vylepšení situace
- Zhodnoceny výsledky všech tří modelů