

**POLITECHNIKA POZNAŃSKA**  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ I TRANSPORTU



**PRACA DOKTORSKA**

mgr inż. Dawid Nijak

**ŚRODOWISKOWA OCENA ROZWIĄZAŃ  
TRANSPORTOWYCH Z WYKORZYSTANIEM  
SYMULACJI RUCHU DROGOWEGO**

Promotor:

**dr hab. inż. Miłosław Kozak**

Promotor pomocniczy:

**dr inż. Łukasz Rymaniak**

POZNAŃ 2020

## SPIS TREŚCI

<b>1. WPROWADZENIE .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Wstęp .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Cel i zakres pracy .....</b>	<b>7</b>
<b>2. ANALIZA SYSTEMÓW DO OCENY I MODELOWANIA RUCHU DROGOWEGO Z UWZGLĘDNIENIEM JEGO WPŁYWU NA ŚRODOWISKO .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1. Informacje ogólne o programach do modelowania ruchu drogowego .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2. Porównanie programów do modelowania ruchu .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3. Przykłady praktycznego zastosowania programów Visum i Vissim .....</b>	<b>21</b>
2.3.1. Przykłady zastosowania programów Visum i Vissim w analizach i badaniach w obrębie miasta Poznania .....	21
2.3.2. Przykład zastosowania programu Vissim w Warszawie .....	22
<b>2.4. Podsumowanie.....</b>	<b>22</b>
<b>3. BADANIA STRUMIENI RUCHU DROGOWEGO W POZNANIU I AGLOMERACJI POZNAŃSKIEJ .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1. Założenia badań ruchu drogowego .....</b>	<b>24</b>
3.1.1. Cel badań oraz metodyka pomiarów i obliczeń .....	24
3.1.2. Wykaz i opis badanych węzłów komunikacyjnych .....	24
<b>3.2. Rozkład natężenia ruchu pojazdów na poszczególnych skrzyżowaniach .....</b>	<b>31</b>
<b>3.3. Najbardziej obciążone ruchem węzły drogowe .....</b>	<b>41</b>
<b>4. WERYFIKACJA I AKTUALIZACJA MODELU RUCHU .....</b>	<b>42</b>
<b>4.1. Model ruchu – informacje ogólne .....</b>	<b>42</b>
<b>4.2. Model ruchu opracowany na podstawie Kompleksowy Badań Ruchu     KBR 2000 .....</b>	<b>44</b>
<b>4.3. Weryfikacja modelu ruchu przy opracowaniu Zrównoważonego Planu     Rozwoju Transportu Publicznego .....</b>	<b>48</b>
<b>4.4. Aktualizacja modelu symulacyjnego aglomeracji poznańskiej wraz     z prognozami .....</b>	<b>54</b>
<b>4.5. Nowy model ruchu .....</b>	<b>64</b>



<b>5. WYKONANIE I ANALIZA SCENARIUSZY ROZWIĄZAŃ RUCHU DROGOWEGO POD WZGLĘDEM EMISJI SZKODLIWYCH SKŁADNIKÓW SPALIN PRZEZ POJAZDY UCZESTNICZĄCE W RUCHU ...</b>	<b>69</b>
<b>5.1. Uwagi wstępne</b> .....	<b>69</b>
<b>5.2. Wariantowa analiza przebudowy Ronda Rataje w Poznaniu</b> .....	<b>69</b>
5.2.1. Definicja wariantów.....	69
5.2.2. Uzyskane wyniki i porównanie scenariuszy .....	73
<b>5.3. Analiza wpływu zmian organizacji ruchu w ciągu ul. Garbary i Mostowej w Poznaniu</b> .....	<b>81</b>
5.3.1. Charakterystyka analizowanego fragmentu sieci transportowej .....	81
5.3.2. Podstawowe dane i założenia w przeprowadzonej symulacji ruchu .....	84
5.3.3. Wyniki i analiza przeprowadzonych eksperymentów symulacyjnych .....	86
<b>5.4. Analiza poziomu emisji pojazdów na remontowanych obszarach w Poznaniu z uwzględnieniem różnych etapów przeprowadzanych inwestycji</b>	<b>89</b>
5.4.1. Przebudowa Ronda Kaponiera .....	89
5.4.2. Przebudowa ulicy Grunwaldzkiej .....	100
5.4.3. Przebudowa węzła Antoninek .....	103
<b>5.5. Analiza korzyści z wprowadzenia strefy środowiskowej w Poznaniu</b> .....	<b>108</b>
5.5.1. Przyjęte założenia .....	108
5.5.2. Wyniki badań i ich analiza .....	110
<b>6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI</b> .....	<b>113</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>116</b>
<b>Załącznik 1. Kartogramy przedstawiające rozkład natężenia ruchu na poszczególnych badanych skrzyżowaniach</b> .....	<b>121</b>

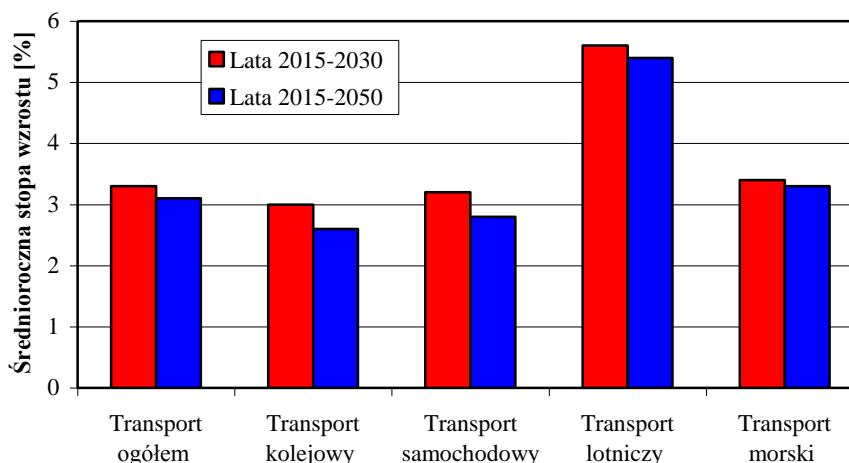
# 1. WPROWADZENIE

## 1.1. Wstęp

Sprawny system transportowy jest jednym z podstawowych elementów każdej rozwiniętej gospodarki na świecie. Transport jest także bardzo ważnym elementem życia znacznej części ludzkości, zapewnia bowiem realizację codziennych potrzeb związanych z przemieszczaniem się. Dostęp do transportu jest jednym z głównych czynników wpływających na jakość życia. Nie dziwi więc fakt, iż prognozy dotyczące zapotrzebowania na przewozy, zarówno w skali światowej, jak i krajowej, zakładają w najbliższych dekadach wzrost popytu [42].

Prognozy OECD dla sektora światowego transportu towarowego zakładają średnioroczną dynamikę wzrostu popytu na przewozy rzędu 3,1% w latach 2015-2050. Największą dynamikę wzrostu popytu na przewozy ładunków przewiduje się dla transportu lotniczego. Natomiast dla mającego największy udział w przewozach transportu samochodowego średnioroczny wzrost popytu na przewozy oszacowano na poziomie 3,2% dla lat 2015-2030 i 2,8% dla lat 2015-2050 (rys. 1.1).

W warunkach krajowych zakłada się około 2-procentową średnioroczną dynamikę wzrostu pracy przewozowej w zakresie przewozów osobowych i nieco większą w zakresie przewozów towarowych (tab. 1.1 i 1.2). Dane zawarte w tabeli 1.1 wskazują, że obecnie w Polsce ponad 3/4 pracy przewozowej w zakresie przewozów osobowych odbywa się samochodami osobowymi i w przyszłości udział ten ma jeszcze wzrosnąć. Z kolei dane tabeli 1.2 pokazują, iż krajowy towarowy transport lądowy zdominowany jest przez transport samochodowy, którego udział będzie z biegiem lat jeszcze się zwiększał. Oba te czynniki pozwalają wnioskować, że najbliższe dziesięciolecia będą niosły ze sobą wzrost natężenia ruchu na polskich drogach.



Rys. 1.1. Średnioroczna stopa wzrostu popytu na przewozy światowego transportu towarowego, w latach 2015-2050 [21, 56]

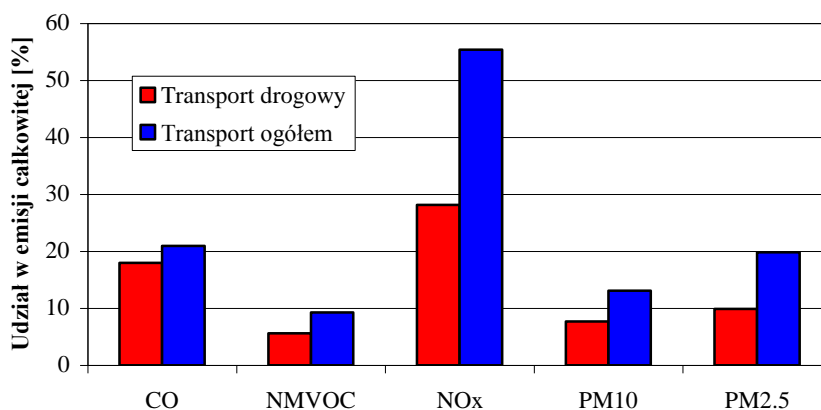
Oprócz rozmaitych korzyści związanych z transportem występują także jego niekorzystne następstwa, w szczególności zanieczyszczenie środowiska [19, 36, 53]. Środki transportu należą do najważniejszych źródeł zanieczyszczenia powietrza w krajach rozwiniętych, w tym w Unii Europejskiej (rys. 1.2). Z kolei wśród wszystkich gałęzi transportu, największym obciążeniem dla środowiska stanowi transport drogowy [18].

Tabela. 1.1. Prognozowana praca przewozowa motoryzacji indywidualnej (samochody osobowe i motocykle), transportu zbiorowego i niezmotoryzowanego w polskich miastach w latach 2015-2030 (miliardy pasażerokilometrów) [8, 70]

Prognoza optymistyczna / pesymistyczna	2015	2020	2025	2030	Roczna dynamika w %	2030:2015 w %
samochody osobowe	65,2 / 65,2	81,5 / 80,3	89,7 / 87,8	89,2 / 87,0	2,1 / 1,9	137 / 133
motocykle	0,5 / 0,5	0,7 / 0,7	0,9 / 0,8	1,0 / 0,8	4,6 / 3,4	196 / 165
transport zbiorowy	16,4 / 16,4	17,0 / 16,8	17,8 / 17,3	18,6 / 17,8	0,9 / 0,6	114 / 109
ruch pieszy i rowerowy	3,6 / 3,6	4,0 / 3,8	4,5 / 4,1	5,1 / 4,4	2,3 / 1,4	141 / 123
<b>RAZEM</b>	<b>85,6 / 85,6</b>	<b>103,2 / 101,6</b>	<b>112,9 / 110,0</b>	<b>113,8 / 110,0</b>	<b>1,9 / 1,7</b>	<b>133 / 129</b>

Tabela. 1.2. Prognozowana praca przewozowa poszczególnych gałęzi transportu towarowego w Polsce w latach 2015-2030 (miliardy tonokilometrów) [8, 70]

Prognoza maksimum / minimum	2015	2020	2025	2030	Roczna dynamika w %	2030:2015 w %
drogowy	319 / 319	395 / 383	438 / 405	477 / 416	2,7 / 1,8	149,3 / 130,1
kolejowy	51 / 51	55 / 54	61 / 58	67 / 60	1,9 / 1,1	132,7 / 118,6
wodny śródlądowy	2,2 / 2,2	1,0 / 0,9	1,1 / 1,0	2,5 / 1,9	0,8 / -1,0	112,6 / 86,5
rurociągowy	22 / 22	24 / 23	25 / 24	27 / 25	1,4 / 0,9	123,9 / 114,4
morski	158 / 158	187 / 178	233 / 206	287 / 235	4,0 / 2,7	181,4 / 148,4
lotniczy	0,4 / 0,4	0,7 / 0,6	0,8 / 0,7	1,3 / 0,9	7,3 / 5,1	287,9 / 210,6
<b>RAZEM</b>	<b>553 / 553</b>	<b>662 / 639</b>	<b>759 / 694</b>	<b>862 / 738</b>	<b>3,0 / 1,9</b>	<b>155,9 / 133,6</b>



Rys. 1.2. Udział transportu drogowego oraz transportu ogółem w całkowitej (tj. ze wszystkich źródeł) emisji głównych zanieczyszczeń powietrza w Unii Europejskiej w 2019 r. [18]

Źródłem emisji CO i HC (VOC) ze środków transportu są głównie pojazdy napędzane silnikami ZI. Udział pojazdów z silnikami ZI i ZS w emisji NO<sub>x</sub> jest podobny, natomiast za emisję PM odpowiadają w większości pojazdy z silnikami ZS [35]. Cząstki stałe należą do najbardziej szkodliwych składników spalin silnikowych [65]. W raporcie Amerykańskiej Agencji Ochrony Powietrza (*US Environmental Protection Agency*) na temat szkodliwości spalin silników ZS [73] wykazano, na podstawie kilkudziesięciu niezależnych medycznych badań ludzi oraz testów laboratoryjnych na zwierzętach, że PM mają właściwości kancerogenne i przyczyniają się w szczególności do wystąpienia nowotworów płuc. Wyniki prac [14, 29, 40] wskazują, iż średnia emisja PM zmniejsza się, gdy obniża się dozwoloną na danym odcinku prędkość pojazdów. Wśród obecnych w spalinach węglowodorów najbardziej toksyczne są węglowodory aromatyczne, w tym benzen [54].

Oprócz dużego udziału w emisji szkodliwych substancji do środowiska, transport odpowiedzialny jest także za istotną część zużycia energii. Według [63] zużycie ropy naftowej w USA w sektorze transportu wynosi blisko 10 litrów na osobę dziennie. W Polsce transport jest drugim sektorem pod względem wielkości zużycia energii, którego udział systematycznie wzrastał w ostatnich latach i w 2018 r. wyniósł 27% [22]. Co istotne transport bazuje przede wszystkim na nieodnawialnych nośnikach energii (ropa naftowa). Tak więc walka z globalnym ociepleniem i antropogeniczną emisją CO<sub>2</sub> będzie silnie oddziaływać na sektor transportu [15].

Od 1990 r. Unia Europejska zdołała zmniejszyć swą całkowitą emisję CO<sub>2</sub> o 23%, głównie dzięki redukcjom w państwach Europy środkowo-wschodniej. W tym samym czasie emisja CO<sub>2</sub> z transportu samochodowego wzrosła o 20%. Od 2011 r. emisja gazów cieplarnianych z transportu w Polsce spadła z poziomu 48,8 mln ton CO<sub>2</sub>eq do 44,1 mln ton CO<sub>2</sub>eq w 2013 r., po czym wzrosła do poziomu 63,4 mln ton CO<sub>2</sub>eq w 2017 roku i stanowi ok. 15,3% całkowitej emisji krajowej. W ramach emisji z sektora transportu w Polsce zdecydowanie największy udział (ok. 98%) mają pojazdy drogowe, w szczególności osobowe i dostawcze [51].

Uzyskanie akceptowalnie małej emisji szkodliwych składników spalin z silników pojazdów wymaga jednoczesnych, wielokierunkowych działań w obrębie pojazdu, obejmujących co najmniej [45]:

- optymalizację procesu spalania paliwa w silniku,
- stosowanie systemów ograniczających tworzenie substancji toksycznych w procesie roboczym silnika (np. układ recyrkulacji spalin EGR),
- stosowanie skutecznych układów oczyszczania spalin,
- stosowanie układów diagnostyki pokładowej OBD, monitorujących poziom emisji składników toksycznych przez pojazd,
- udoskonalone paliwa, sprzyjające niskiej toksyczności spalin.

Od strony prawnej zmniejszenie emisji szkodliwych składników spalin wymuszane jest przez co raz bardziej surowe limity emisji oraz coraz surowsze i bardziej obszerne procedury pomiarowe [12, 13]. W tym zakresie należy w szczególności wskazać na prowadzenie badań emisji w rzeczywistych warunkach eksploatacji [37, 38, 44]. Badania te dostarczają bardziej wiarygodnych wyników, które niekiedy krytycznie weryfikują założenia teoretyczne, czy przyjęte na ich podstawie przewidywania. Na przykład w badaniach opisanych w [39] przebadano w warunkach drogowych 234 autobusy miejskie z różnymi układami napędowymi i normami emisji. W badaniu tym, obejmującym bardzo dużą próbę autobusów klasy Euro V (59 konwencjonalnych i 26 hybrydowych), okazało się, że autobusy hybrydowe emitują więcej PN (Particle Number), NO<sub>x</sub> i HC niż autobusy z napędem konwencjonalnym. Inne wyniki przedstawione w [30] wskazują, że na niektórych trasach miejskich autobusy hybrydowe zużywają więcej paliwa niż autobusy konwencjonalne.

Obniżenie emisji przez transport drogowy możliwe jest jednak nie tylko przez działania w obrębie samych pojazdów. To warunki ruchu pojazdów, a w konsekwencji warunki pracy ich silników w dużym stopniu decydują o poziomie zużycia paliwa i toksyczności emitowanych spalin [1, 2, 3, 9, 20, 43]. Te z kolei w dużym stopniu zależą od zastosowanych rozwiązań infrastrukturalnych i sterowania ruchem drogowym [11, 23, 28]. W dokumencie *Polityka Klimatyczna Polski – Strategie redukcji emisji gazów cieplarnianych w Polsce do roku 2020* wydanym przez Ministerstwo Środowiska [59] wskazano, że w sektorze transportu znaczne rezerwy redukcyjne emisji tkwią w szeroko pojętej poprawie organizacji przewozów osób i towarów oraz związanych z tym przedsięwzięć infrastrukturalnych. Szacuje się, że potencjał redukcyjny związany z wdrożeniem szeroko pojętych przedsięwzięć organizacyjnych w transporcie jest kilkakrotnie większy od sumarycznego potencjału opcji techniczno-paliwowych i sięga około 40% obecnej emisji z transportu. Potencjał leży także w cyfryzacji zarządzania procesami transportowymi. Potencjał wykorzystania nowoczesnych rozwiązań w sektorze transportu drogowego jest szeroki, począwszy od systemów wspierających zarządzanie i bezpieczeństwo ruchu drogowego, do wszechstronnej, powszechnej informacji dla podróżujących i rozwiązań z zakresu ekonomii współdzielenia [41].

Oceny wpływu na środowisko przedsięwzięć organizacyjno-infrastrukturalnych w transporcie drogowym można dokonać wykorzystując pomiary emisji referencyjnych pojazdów wykonane w warunkach rzeczywistego ruchu za pomocą pokładowych analizatorów spalin (PEMS). Takie podejście zaprezentował m.in. w swojej pracy doktorskiej Nowak [55]. Podobne podejście można spotkać także w pracach Merkiszka i współautorów [46-49]. Lijewski i in. [37] opisali pomiary emisji w warunkach rzeczywistych dla samochodów hybrydowych i elektrycznych. Rozwiązanie to jednak w zasadzie ograniczone jest do oceny już zrealizowanych przedsięwzięć. W praktyce z kolei niezwykle przydatna jest ocena środowiskowa przedsięwzięć organizacyjno-infrastrukturalnych transportu drogowego już na etapie ich planowania i projektowania, pozwalająca na przykład na rozważenie pod względem ekologicznym różnych rozwiązań. W takiej sytuacji niezbędne jest jednak przeprowadzenie symulacji, pozwalających modelować ruch pojazdów oraz powiązać go z poziomem emisyjności uczestniczących w ruchu pojazdów. Aby uzyskane wyniki były miarodajne, niezbędny jest wybór odpowiedniego narzędzia symulacyjnego oraz kalibracja modelu i wprowadzenie obszernych i aktualnych danych wejściowych. Stopień złożoności tych zadań rośnie wraz ze zwiększaniem skomplikowania rozwiązań organizacyjno-infrastrukturalnych oraz wielkości analizowanego obszaru. W ramach niniejszej pracy dokonano analizy środowiskowej scenariuszy rozwiązań ruchu drogowego w jednym z największych miast Polski – w Poznaniu.

## **1.2. Cel i zakres pracy**

Celem pracy było praktyczne wykorzystanie symulacji ruchu drogowego do oceny przewidywanego wpływu modyfikacji infrastruktury drogowej na poziom emisji zanieczyszczeń przez pojazdy uczestniczące w ruchu drogowym. Analizie poddano zarówno rozważane w przyszłości rozwiązania infrastrukturalne, jak również te wdrożone. Dodatkowo wyznaczono jak wpływają na emisję pojazdów utrudnienia ruchu związane z remontami i inwestycjami w obrębie węzłów drogowych. Przeprowadzone w pracy analizy obejmowały także oszacowanie korzyści emisyjnych związanych z wprowadzeniem tzw. strefy środowiskowej.

W ramach pracy dokonano:

- przeglądu i analizy współczesnego oprogramowania do modelowania ruchu drogowego, ze szczególnym naciskiem na możliwości oceny środowiskowej uczestniczących w ruchu pojazdów,
- szerokich badań bezpośrednich strumieni ruchu drogowego w Poznaniu i aglomeracji poznańskiej, celem dostarczenia aktualnych danych o potokach ruchu drogowego i ich charakterystyce na potrzeby prowadzonych w dalszej części pracy symulacji ruchu,
- analizy, weryfikacji i aktualizacji modelu ruchu, z wykorzystaniem danych wejściowych zebranych w ramach realizacji niniejszej pracy,
- analizy i wyboru najbardziej obciążonych i newralgicznych węzłów komunikacyjnych miasta Poznania oraz opracowania scenariuszy modyfikacji wybranych węzłów celem zmniejszenia ich oddziaływania na środowisko,
- opracowania założeń wprowadzenia w Poznaniu strefy środowiskowej,
- jakościowej i ilościowej oceny środowiskowej zaproponowanych i rozważanych w pracy rozwiązań infrastrukturalnych, będącej podstawą do proekologicznego rekomendowania określonych rozwiązań.

Niniejsza praca stanowi podsumowanie około dziesięcioletniego dorobku autora w zakresie wykorzystania symulacji ruchu drogowego do oceny jego wpływu na środowisko naturalne. W pracy autor wykorzystał doświadczenie zdobyte w czasie pracy w Oddziale Polityki Transportowej Urzędu Miejskiego w Poznaniu oraz podczas realizacji projektów badawczych we współpracy z Politechniką Poznańską i Krakowską oraz Zarządem Dróg Miejskich w Poznaniu.

## 2. ANALIZA SYSTEMÓW DO OCENY I MODELOWANIA RUCHU DROGOWEGO Z UWZGLĘDNIENIEM JEGO WPŁYWU NA ŚRODOWISKO

### 2.1. Informacje ogólne o programach do modelowania ruchu drogowego

Do prowadzenia analiz ruchu drogowego, w tym analiz środowiskowych, stosuje się różne programy komputerowe, które w znaczny sposób ułatwiają tego typu prace, jak również pozwalają w sposób szybszy i dokładniejszy wygenerować dane niezbędne do analiz. Analizy uzyskiwane w wyniku symulacji komputerowych są obecnie podstawą aplikowania np. o dotacje unijne dla inwestycji transportowych. Stanowią one bowiem źródło rzetelnych informacji o sytuacji transportowej miasta (czy obszaru dla którego analizę prowadzono) oraz o prognozach i kierunkach jego rozwoju.

Podstawowe cele modelowania ruchu drogowego to [24]:

- budowa macierzy przemieszczeń określających wielkości potoków przemieszczających się pomiędzy różnymi częściami analizowanego obszaru (np. miasta),
- budowa map natężeń ruchu, określenie wpływu ruchu na środowisko,
- określenie przyszłych potrzeb transportowych,
- określenie optymalnego sposobu przebudowy elementów sieci drogowej,
- wyznaczenie optymalnych etapów rozbudowy sieci drogowej lub etapów budowy danej inwestycji drogowej,
- wsparcie przy wyznaczaniu optymalnego przebiegu nowych ulic oraz określaniu ich parametrów technicznych,
- wsparcie przy określaniu typów skrzyżowań drogowych i ich parametrów w ciągu nowych tras drogowych,
- określenie zmian rozkładu ruchu na sieci drogowej miasta po wybudowaniu nowej ulicy, skrzyżowania, obiektu handlowego, centrum rozrywki, hali sportowej, stacji paliw itp.

Rozważania na temat dostępnego oprogramowania, którego działanie oparte jest na zastosowaniu właściwego modelu ruchu poprzedzić należy analizą powszechnie stosowanych modeli ruchu, ich wad i zalet.

Podział powszechnie stosowanych modeli ruchu można uzależniać od poziomu szczegółowości zjawiska jakim jest ruch drogowy. Zgodnie z tym, modele ruchu można podzielić na dwie zasadnicze grupy [72]:

- mikroskopowe modele ruchu,
- makroskopowe modele ruchu.

Modele makroskopowe charakteryzują się tym, że opisują ruch drogowy poprzez wielkości zagregowane, w tym np.: średnią prędkość pojazdów czy natężenie ruchu.

Mikroskopowe modele ruchu opisują z dużą szczegółowością każdy pojedynczy pojazd znajdujący się w sieci drogowej oraz wzajemne interakcje jakie zachodzą pomiędzy pojazdami i stanem sieci drogowej.

Dodatkowo jeszcze wyróżnić można modele mezoskopowe wypełniające przestrzeń pomiędzy modelami mikroskopowymi i makroskopowymi. W uproszczeniu można je przedstawić jako modele opisujące ruch grup pojazdów oraz ich wzajemne interakcje.

Wynikiem stosowania makroskopowego modelu ruchu jest średnia prędkość pojazdów  $v(x,t)$  w odniesieniu do gęstości ruchu  $p(x,t)$  jako funkcja przebytej drogi i czasu. Zakłada się tutaj, że strumień ruchu jest jednorodny i może być określany przez 3 zmienne: intensywność ruchu (liczba pojazdów przejeżdżających określony przekrój drogi w jednostce czasu),

gęstość ruchu i średnią prędkość. W ruchu jednorodnym wymienione parametry łączą zależność zwana równaniem strumienia stanu pojazdów:  $q = p \cdot \bar{v}_t$ , gdzie:

$\bar{v}_t$  – średnia prędkość chwilowa wyznaczona z zależności:  $\bar{v}_t = \frac{1}{n_t} \sum_{i=1}^{n_t} v_{ti}$ , gdzie:

$n_t$  – liczba pojazdów znajdująca się na odcinku  $\Delta x$  w danej chwili  $t$ ,

$v_{ti}$  – prędkość pojazdu  $i$  mierzona w chwili  $t$  na odcinku  $\Delta x$ .

Jednym z wyników przyjęcia powyższego założenia było powstanie tzw. krzywych oporu. Są to funkcje, które uzależniają czas przejazdu odcinka drogi  $t_{cur}$  (w przypadku nieobciążonej ruchem drogi średni czas przejazdu odcinka drogi  $t_0$  wynika z prędkości swobodnej  $v_0$ ) od natężenia ruchu. Funkcje te są „rdzeniami programów” powszechnie wykorzystywanymi w programach komputerowych do modelowania ruchu takich jak Visum czy Emme/2. Funkcje te mają stosunkowo proste formy równań, które umożliwiają oszacowanie średnich prędkości na obciążonych ruchem odcinkach dróg wykorzystując informację o ich przepustowości [7, 16]. Do najczęściej stosowanych funkcji oporu należą: BPR (oraz jej modyfikacje BPR2 i BPR3), CONCIAL, Lohse, INRETS. We wszystkich wymienionych funkcjach oporu głównym składnikiem jest stosunek natężenia ruchu do przepustowości odcinka. Najprostszą postać spośród wszystkich analizowanych funkcji ma BPR, która jednocześnie jest jedną z najbardziej znanych funkcji oporu:  $t_{cur} = t_0 \cdot (1 + a \cdot sat^b)$  gdzie:

$$sat = \frac{Q}{c \cdot Q_{max}}$$

$Q$  – natężenie ruchu [poj/h],

$t_{cur}$  – czas przejazdu odcinka obciążonego natężeniem ruchu  $Q$ ,

$t_0$  – czas przejazdu odcinka przy swobodnych warunkach ruchu,

$Q_{max}$  – przepustowość [poj/h],

$a, b, c$  – parametry.

Kolejną z zalet makroskopowych modeli ruchu jest stosunkowo łatwe do wykonania powiązanie obliczeń z iteracyjnymi procedurami rozkładania ruchu na modelach sieci drogowych. Obliczane średnie prędkości pojazdów w modelach makroskopowych w przypadku występowania natężeń ruchu mniejszych od przepustowości mają zadawalającą zgodność z danymi pomiarowymi. Jednak w przypadku natężeń ruchu bliskich przepustowości uzyskiwane wyniki mogą znacznie odbiegać od wartości rzeczywistych (zmierzonych). Kształt krzywych powoduje, że w czasie iteracyjnej procedury rozkładania ruchu na sieci nie stanowią one blokady przed przejazdem większej liczby pojazdów niż wynosi ich przepustowość. Dodatkowo makroskopowe modele ruchu nie uwzględniają oddziaływania na siebie sąsiednich odcinków sieci. Wymienione wady są dużymi utrudnieniami w modelowaniu ruchu [16].

Przytoczone powyżej problemy nie mają miejsca w przypadku stosowania mikroskopowych modeli ruchu, przy pomocy których uwzględnia się zachowanie każdego indywidualnego pojazdu (kierowcy). Jednymi z pierwszych i najpowszechniej stosowanych modeli są deterministyczne modele jazdy za liderem. Modele te zakładają, że kierowcy reagują na zmiany sposobu jazdy pojazdu lub pojazdów poprzedzających. Zaletą stosowania mikroskopowych modeli ruchu jest dokładność uzyskiwanych wyników. Jednak stosowanie mikroskopowych modeli ruchu wiąże się z pewnymi ograniczeniami powodowanymi przez trudności ich powiązania z procedurami wyboru ścieżek przejazdów pomiędzy źródłami i celami podróży. W przypadku stosunkowo małych sieci można np. zastosować procedurę



Dynamic Assignemnt w programie PTV Vissim [62]. Jednak stosowanie mikroskopowych modeli ruchu w przypadku prognozowania ruchu dla dużych sieci np. miast czy aglomeracji oraz modeli dla dróg na obszarze całego kraju jest dotychczas praktycznie niemożliwe do wykorzystania [16].

W zakresie najpowszechniej stosowanych programów wykorzystujących mikrosymulacyjne modele ruchu, umożliwiającą ciągłą wizualizację wyników obliczeń wymienić należy: Vissim, Aimsun, Cube Dynasim, Quadstone Paramics i S-Paramics.

W programie PTV Vissim wykorzystywany jest mikroskopowy model ruchu jazdy dwóch pojazdów, w którym zawarta jest logika zmiany pasa ruchu. Przy jego pomocy można wykonywać obliczenia (położenie pojazdów, prędkość, przyspieszenia/opóźnienia) w sekwencjach do 0,1 s. Wykorzystywany w oprogramowaniu model (jazdy za liderem) jest modelem złożonym, uwzględniającym psychofizyczne zachowania kierowców. Podstawą tego modelu jest model zachowania kierującego pojazdem, który dostrzegając według indywidualnego poziomu percepcji wolniejszy pojazd rozpoczyna zwalnianie. W sytuacji, kiedy nie potrafi dokładnie określić prędkości poprzedzającego go pojazdu, jego własna prędkość jest utrzymywana na poziomie niższym do momentu, kiedy ponownie rozpocznie przyspieszanie w wyniku osiągnięcia innego poziomu percepcji. W wyniku tego następuje iteracyjny proces zwalniania i przyspieszania. Ponadto do programu Vissim stworzonych zostało wiele modułów umożliwiających przeprowadzanie szeregu analiz dodatkowych, w tym m.in. moduły umożliwiające akomodacyjne sterowanie ruchem, moduł środowiskowy umożliwiający szacowanie emisji oraz tworzenie map emisji silnika z uwzględnieniem różnych typów i stylu jazdy oraz ogólne analizy oddziaływania na środowisko, wykonywanie rozkładów dynamicznych oraz prezentację symulacji w formacie 3D. Dodatkowo wyniki eksperymentów symulacyjnych zapisane w postaci plików zewnętrznych zawierających szczegółowe dane o trajektoriach i parametrach ruchu poszczególnych pojazdów mogą być wykorzystywane przez zewnętrzne programy do analiz emisji jak np. EnViVer opracowany przez holenderską organizację badawczą TNO. Ponadto program Vissim jest najpowszechniej wykorzystywanym narzędziem do mikrosymulacji ruchu w Polsce, co również nie jest bez znaczenia dla możliwości późniejszej adaptacji wyników projektu przez inne podmioty.

Vissim pozwala modelować potoki pojazdów indywidualnych oraz transportu zbiorowego zarówno w obszarach miejskich jak i na drogach pozamiejskich oraz autostradach. Modelowanie ruchu przy użyciu Vissim jest bardziej precyzyjne i bogatsze w szczegóły niż w innych symulatorach mikroskopowych. Vissim jest narzędziem wspierającym podejmowanie decyzji w inżynierii ruchu i w planowaniu transportu [27].

Program Vissim umożliwia:

- porównanie węzłów z uwzględnieniem alternatywnych projektów (rondo, skrzyżowanie z pierwszeństwem przejazdu, z sygnalizacją świetlną, itp.),
- projektowanie, testowanie i oceny sterowania zależnego od ruchu,
- analizy przepustowości, a także testowanie schematów priorytetów w komunikacji zbiorowej,
- badanie sprawności transportu szynowego z samoczynną blokadą liniową,
- badanie wpływu ograniczenia prędkości,
- analizy funkcjonowania placów poboru opłat, parkingów,
- analizy ruchowe wpływu centrów handlowych,
- badanie zachowań na autostradach, kierowanie na trasy alternatywne, kontrola wjazdów,
- ocenę wpływu oddziaływania systemów prowadzenia pojazdów i systemów znaków o zmiennej treści.

Tak więc Vissim może modelować wiele różnorodnych wariantów sytuacji ruchowych w miastach i poza nimi [27]. Wykorzystuje on wygodny edytor sieci, który pozwala na:

- budowanie sieci transportowej na bazie obrazu w tle (plany miast, zdjęcia lotnicze, plany skrzyżowań),
- stosowanie różnych obiektów sieci drogowej do modelowania elementów infrastruktury (ulice jedno- lub wielopasowe, tory tramwajowe i kolejowe, linie zatrzymania, znaki o zmiennej treści, znaki podporządkowania, znaki stop, sygnalizatory, detektory, przystanki tramwajowe, zatoki autobusowe, parkingi itp.),
- definiowane przez użytkownika typy pojazdów jak różnej konfiguracji samochody osobowe, samochody ciężarowe, ciężarowe z przyczepą, autobusy, autobusy przegubowe, tramwaje jedno lub wielowagonowe, piesi, rowerzyści,
- określanie elementów stochastycznych takich jak rozkłady pożądaných prędkości, przyspieszenia czy odstępu pomiędzy pojazdami,
- import topologii sieci i sterowania stałoczasowego opracowanego przy użyciu zewnętrznych narzędzi projektowych, takich jak CROSSIG i SITRAFFIC P2 (Siemens AG),
- import danych z PTV transportation: macierze źródło-cel, sieci częściowe zawierające trasy i atrybuty odcinków. Standardowe skrzyżowania są obecnie definiowane w nowym edytorze skrzyżowań w Visum, pozwala to na szybką budowę dużych sieci dla celów symulacji mikroskopowej.

Innym oprogramowaniem o podobnym zakresie funkcjonalności jest Aimsun. Narzędzie to również umożliwia przeprowadzanie analiz istotnych pod względem właściwego kształtowania sieci drogowej, w tym analiz oddziaływania na środowisko, optymalizacji systemów sterowania ruchem, rozkładów dynamicznych, kształtowania polityki cenowej i innych wpływających na bezpieczeństwo ruchu, wizualizację wyników w formie 3D. W przeciwieństwie jednak do programu PTV Vissim, program ten nie jest tak popularny w Polsce, przez co rozpowszechnianie wyników z wykorzystaniem tego programu może być znacznie ograniczone.

Program Cube Dynasim to program, który pomimo wielu zaawansowanych funkcjonalności nie ma możliwości wykonywania analiz środowiskowych, w tym analiz emisji, co uniemożliwiłoby realizację celu niniejszej dysertacji.

Program Quadstone Paramics i S-Paramics również oferują podobny zakres funkcjonalności, co program Vissim oraz Aimsun, w tym zaawansowane analizy środowiskowe umożliwiające dokładne modelowanie emisji spalin z uwzględnieniem różnych rodzajów pojazdów. Umożliwiają one również podobnie jak program PTV Vissim odwzorowanie poziomu zanieczyszczeń z uwzględnieniem różnych stylów jazdy. Dzięki temu możliwe jest przeprowadzanie analiz systemu transportowego na określonym obszarze nie tylko pod względem parametrów ruchu i obciążenia sieci, ale również efektywności ekologicznej przyjętych rozwiązań. Pomimo wielu zalet znacznym ograniczeniem dla przedmiotowych programów jest ich niewielka popularność w Polsce.

Do najbardziej zaawansowanych technicznie programów do makroskopowego modelowania podróży zaliczyć można: Visum, Emme/2, Emme/3 i Satrun, CUBE. Podobnie jak w przypadku programów do mikrosymulacji zauważyć należy, że obecny poziom rozwoju tych narzędzi powoduje, że oferują one zbliżone funkcjonalności. Z uwagi jednak na zakres możliwych analiz – możliwość analizowania ruchu w skali mezoskopowej na szczególną uwagę zasługują dwa programy Saturn i Visum.

Program Saturn umożliwia wykonywanie symulacji na fragmentach sieci drogowej i uwzględnienie jej wyników w procesie rozkładania ruchu na sieci, przez co umożliwia analizowanie ruchu w skali mezoskopowej. Program ten jest jednak uznawany za przestarzały i nie jest powszechnie stosowany w Polsce

W programie Visum również możliwe jest analizowanie ruchu w skali mezoskopowej dzięki zastosowaniu funkcji Bloking-BackModel. Funkcja ta umożliwia fizyczne ograniczenie „nadwyżki” natężenia ruchu (różnicy między popytem na skorzystanie z infrastruktury drogowej, a podażą wynikającą z przepustowości sieci) w analizowanym okresie czasu na poszczególnych odcinkach sieci drogowej. Nadwyżka ruchu rozumiana jest w tym przypadku jako różnica pomiędzy natężeniem ruchu i przepustowością odcinka. Ponadto z uwagi na fakt, iż program ten stanowi element pakietu oprogramowania do modelowania i symulacji ruchu firmy PTV, w skład którego wchodzi również program Vissim, programy te uzupełniają się wzajemnie ułatwiając przeprowadzanie szczegółowych analiz. Dodatkowo program Visum posiada wiele modułów dodatkowych, w tym moduł HBFA, umożliwiający przeprowadzanie analiz środowiskowych. Ponadto program charakteryzuje się przyjaznym dla użytkownika interfejsem, dzięki czemu część zadań może być wykonywana intuicyjnie. Jednocześnie zauważyć należy, że program Visum jest najpopularniejszym narzędziem do modelowania i prognozowania ruchu w Polsce. Istotną wadą tego oprogramowania jest jego dość wysoka cena. Z drugiej strony Visum jako jedyny posiada zarówno interfejs, jak i instrukcję użytkownika w języku polskim.

Visum jest wszechstronnym programem wspomagającym planowanie transportu. Łączy wszystkie aspekty odnoszące się do planowania zarówno transportu publicznego jak i indywidualnego w jednym kompleksowym modelu. Oparty jest na wyrafinowanej architekturze składników programowych i przeznaczony do pracy w środowisku Windows. Zintegrowany model sieci rozróżnia transport indywidualny (PrT) i transport publiczny (PuT) i składa się w szczególności z następujących obiektów:

- węzły: (skrzyżowania dróg albo przystanki PuT),
- odcinki: infrastruktura drogowa i kolejowa,
- relacje skrajne,
- rejony komunikacyjne: początki i końce podróży,
- podłączenia rejonów do sieci,
- linie PuT: trasy linii i rozkłady jazdy,
- dane operacyjne dla pojazdów i przewoźników PuT,
- punkty pomiarowe dla liczenia pasażerów i detekcji pojazdów.

Graficzny edytor sieci umożliwia łatwą interaktywną modyfikację wszystkich jej obiektów. Filtry i tryb wyboru grupowego pozwalają na równoczesną edycję grupy obiektów. Proste w tworzeniu makra, które umożliwiają automatyczne uruchamianie funkcji są narzędziem do wykonywania kompleksowych zadań, zwłaszcza czasochłonnych obliczeń [27].

Visum jest wszechstronnym, elastycznym oprogramowaniem służącym do planowania sieci transportowych, modelowania popytu na transport oraz zarządzania danymi. Stosowany jest na wszystkich kontynentach w opracowywaniu miejskich, regionalnych oraz ogólnokrajowych planów rozwoju infrastruktur transportowych. Dedykowany jest do analizy multimodalnej integrując wszystkie możliwe środki transportu (np. samochody osobowe, samochody ciężarowe, autobusy, pociągi, ruch pieszy i rowerzystów) w jeden spójny model sieci transportowych. Dodatkowo Visum umożliwia budowę 4-stopniowych modeli popytowych, uwzględniających zarówno analizy typu źródło-cel, jak i sposób zagospodarowania przestrzennego poszczególnych obszarów analizowanego regionu.

Oprogramowanie jest w ciągłym rozwoju, dlatego też pomimo stosunkowo wysokiej ceny, ponoszenie wydatków na kolejne aktualizacje oprogramowania zwraca się w postaci coraz to większych możliwości i nowych funkcji narzędzia. W przypadku analiz komunikacji zbiorowej postęp między pierwotnymi wersjami Visuma, a tymi oferowanymi obecnie przez PTV jest ogromny [17]. Poniżej przedstawiono wybrane przykłady pojawiających się stopniowo unowocześnień w zakresie komunikacji zbiorowej:

- możliwość wprowadzenia rozkładów ruchu dla poszczególnych linii w poszczególnych dniach tygodnia,
- możliwość importu danych o rozkładach jazdy,
- tworzenie grup przystanków dla wyznaczonych linii w celu wyznaczenia pożądanego czasu na przesiadki między wyznaczonymi liniami,
- tworzenie obszarów dla grup przystanków w celu zoptymalizowania przesiadek między nimi np. dla osób niepełnosprawnych,
- zaawansowany moduł do obliczeń kosztów użytkowania środków komunikacji zbiorowej na poszczególnych liniach,
- moduł do obliczenia wpływu z biletów nie tylko dla linii, operatorów, ale również w zadanych obszarach,
- optymalizacja rozkładów jazdy przy zadanych parametrach takich jak np. optymalizacja względem wybranych linii, czasów oczekiwania na przystankach, itd.,
- możliwość wprowadzenia interfejsu do zaawansowanych systemów informowania podróżnych o możliwych połączeniach i rozkładach jazdy,
- większy zakres raportowania i zbierania statystyk.

Programy Emme/2 i Emme/3 firmy Inro w porównaniu do programu Visum, pomimo, że oferują zbliżone funkcjonalności, charakteryzują się mniej przyjaznym interfejsem użytkownika, co powoduje, że praca z nim jest bardziej skomplikowana. Programy te wykorzystywane są w Polsce, jednak nie cieszą się tak dużą popularnością i jednocześnie nie występują w pakiecie z programem do mikrosymulacji ruchu.

Jak widać na rynku dostępnych jest wiele programów służących do modelowania i symulacji ruchu jednak w Polsce najpopularniejszym programem do modelowania i prognozowania ruchu jest program Visum, natomiast spośród programów do symulacji ruchu najbardziej popularnym jest Vissim. Obydwa programy stworzone zostały przez firmę PTV. Obecnie programami tymi posługują się jednostki miejskie m.in. w Warszawie, Krakowie, Wrocławiu, Poznaniu, Gdańsku, Kielcach, Katowicach i Tychach oraz firmy konsultingowe i projektowe. Przegląd literatury fachowej wskazuje, że Vissim jest wiodącym programem do mikroskopowej symulacji ruchu.

## 2.2. Porównanie programów do modelowania ruchu

Porównywanie programów komputerowych służących do modelowania podróży/ruchu nie jest zadaniem łatwym, z uwagi na niejednokrotnie różny zakres ich zastosowania, różne priorytety, a co za tym idzie dużą liczbę możliwych kryteriów oceny (tab. 2.1). Celowe jest więc przede wszystkim wskazywanie zalet lub wad poszczególnych programów biorąc pod uwagę określone parametry [26].

Dla potrzeb wyboru oprogramowania przyjęto założenie, że zasadniczo należy rozważyć trzy grupy kryteriów:

1. kryteria ogólne związane z charakterystyką funkcjonowania programu,
2. kryteria weryfikacyjne,
3. kryteria merytoryczne programu.

Zdecydowanie najważniejszym kryterium wydaje się ocena merytoryczna programu, należy jednak mieć na uwadze, iż na przykład w zastosowaniach systemów czasu rzeczywistego niekiedy konieczne jest zrezygnowanie z bardziej wyrafinowanych modeli na korzyść prostszych, ale wystarczająco szybkich numerycznie.

Ocenie poddane zostały wybrane (najpopularniejsze) programy do modelowania podróży (m.in. Vissim, Emme, Cube, TransCad – tab. 2.2) oraz mikrostymulacji ruchu (Vissim, Aimsun, Paramics – tab. 2.3). Programy te należą do grupy programów do celów

planistycznych, służących przede wszystkim do wykonania analiz ruchu oraz prognoz ich rozwoju dla potrzeb decyzyjnych co do przeprowadzania inwestycji transportowych. W rozważanym problemie obydwa rodzaje symulacji są niezwykle istotne. Część analiz wykonywana będzie wyłącznie przy wykorzystaniu modeli makrosymulacyjnych jednak w wielu sytuacjach zastosowanie modeli mikrosymulacyjnych dla bardziej szczegółowej analizy będzie nieuniknione. Podstawowe kwestie rozważane podczas wyboru modeli symulacyjnych są następujące:

- Modele makrosymulacyjne zapewniają uproszczone odwzorowanie rzeczywistości. Zachowanie wszystkich pojazdów w tym przypadku traktowane jest jednakowo. W przypadku modeli mikrosymulacyjnych następuje odwzorowanie ruchu pojedynczych pojazdów. Dostarczają one jednocześnie bardzo dobre narzędzia do szczegółowej oceny stanu sieci w warunkach ruchu swobodnego bądź też kongestii, gdzie specyficzne zachowania kierowców są niezwykle istotne.
- Modele mikrosymulacyjne wykorzystane we właściwy sposób mogą dostarczyć szczegółowych i rzeczywistych danych właśnie z uwagi na możliwość modelowania zachowań pojedynczych kierowców. Mogą one uwzględniać zasady zarządzania ruchem, dzięki czemu modelowane zachowania kierowców reagują na stan sieci. Istotną kwestią jest również możliwość wizualizacji zmian stanów sieci podczas procesu symulacji.
- Szeroki wachlarz dostępnych programów komputerowych zarówno do mikro jak i makrosymulacji wymusza na użytkownika konieczność szczegółowej analizy i dobór odpowiedniego pakietu oprogramowania pozwalającego osiągnąć jak najlepsze wyniki, co uzależnione jest również od charakterystyki rozważanych problemów.

Przy doborze odpowiedniego oprogramowania jak również rodzaju symulacji należy przeanalizować następującą listę pytań kontrolnych:

- Czy podejście makrosymulacyjne będzie wystarczające dla właściwej analizy rozważanego problemu? – czy zagadnienie obejmuje elementy dla których konieczne jest wykorzystanie modeli mikrosymulacyjnych?
- Jakiego rodzaju korytarze drogowe będą analizowane – miejskie, podmiejskie, pozamiejskie, autostrady? – może to mieć kluczowe znaczenie przy wyborze pomiędzy mikro a makrosymulacją i pakietem oprogramowania, ponieważ niektóre programy mogą np. być lepiej przygotowane do analiz potoków ruchu na autostradach, czy też drogach miejskich niż inne.
- Jakiego rodzaju plany usprawnień/rozwoju sieci są przewidywane? – to również będzie miało kluczowe znaczenie przy doborze rodzaju symulacji i wykorzystywanego oprogramowania, ponieważ np. niektóre programy mogą być lepiej dostosowane przykładowo do analiz środowiskowych, a inne umożliwią lepsze zamodelowanie systemu transportu publicznego.
- Jaki jest zakres alternatywnych wariantów/strategii?
- Jaki obszar analizy jest rozważany?
- Na jakim poziomie szczegółowości analizy powinny być przeprowadzone? – jak wiele odcinków, węzłów, rejonów komunikacyjnych jest wymaganych?
- Jaki jest wymagany okres czasowy analizy? – dla jakiego okresu czasu (godzin szczytu, poza szczytem) będą przeprowadzane analizy?
- Czy do analizy wymagane są określone typy pojazdów?
- Jakiego rodzaju dane będą wykorzystywane? – dane są niezbędne przy procesie kalibracji i walidacji modelu.

- Jaki jest wymagany poziom szczegółowości dostępnych danych? – np. natężenie w ciągu godziny.
- Jaki budżet jest dostępny oraz jaki przewiduje się harmonogram analiz?
- Czy wyniki analiz muszą być przedstawione w postaci wizualnej (np. symulacji 3D)?

Tab. 2.1. Porównawcze podsumowanie metod mikro i makrosymulacyjnych

<b>Cecha</b>	<b>Modele makrosymulacyjne</b>	<b>Modele mikrosymulacyjne</b>
Przykładowe pakiety oprogramowania	SATURN, EMME, VISUM, CUBE	PARAMICS, VISSIM, AIMSUN, DRACULA CUBE DYNASIM
Obecne wykorzystanie	Szerokie, powszechne zastosowanie	Wzrastające zainteresowanie
Popyt	Zagregowany popyt w profilach przepływu opartych na określonych jednostkach czasowych	Pojedyncze pojazdy zagregowane w profilach przepływu w odcinkach czasu
Sieć	Wymagana długość odcinków, przepustowość, liczba pasów, prędkości średnie	Wykorzystuje informacje geometryczne do identyfikacji kongestii / przepustowości
Rozmiar sieci	Każdy rozmiar sieci, limitowany ew. rozmiarem licencji oprogramowania	Z uwagi na złożoność – sieci małe lub średniej wielkości, co nie wyklucza również modeli np. dla całego miasta
Zachowania kierowców	Wszyscy kierowcy mają te same zachowania	Możliwość modelowania indywidualnych zachowań
Rozkład	Może być wykonywany bazując na czasie lub dystansie	Może być wykonywany bazując na czasie lub dystansie
Wizualizacja	Uproszczona, statyczna np. w postaci skalowanych wstęp	Możliwość dynamicznej wizualizacji 2d lub 3d
Wyniki	Zagregowane dane dotyczące natężenia ruchu, prędkości, czasu, kosztów, emisji, itp.	Szczegółowe dane dotyczące natężenia, długości kolejek oraz prędkości, czasu, kosztów, emisji pojedynczych pojazdów

Wyrażane opinie na temat stosowanych modeli symulacyjnych i związane z nimi odpowiednie programy komputerowe są oparte na własnych doświadczeniach autora związanych z ich wykorzystaniem oraz informacjach pozyskanych m.in. z instrukcji użytkownika oprogramowania.

Tab. 2.2. Szczegółowe porównanie oprogramowania do makrosymulacji

	<b>Visum</b>	<b>Emme</b>	<b>TransCad</b>	<b>Cube</b>
<b>Kryteria ogólne</b>				
Czy jest dostępna instrukcja obsługi lub poradnik użytkownika	T	T	T	T
Czy program działa w środowisku Windows	T	T	T	T
Czy występuje identyfikacja w przypadku przekroczenia parametrów	T	T	T	T
Czy program podaje wartości domyślne parametrów	T	T	T	T
Czy program wymaga wiedzy eksperckiej	T	T	T	T
Czy istnieją inne formy pomocy (np. szkolenia)	T	T	T	T
Czy program pracuje w sieci	T	T	T	T
Instrukcja w języku polskim	T	N	N	N
Wyniki liczbowe na ekranie	T	T	T	T
Wykresy graficzne na ekranie	T	T	T	T
W postaci pliku Microsoft WORD / Arkusz Kalkulacyjny	T	T	T	T
Czy program umożliwi pokazanie stref zagrożeń na mapie	T	T	T	T
Dostępność programu w wersji polskiej	T	N	N	N
Agencja w Polsce	T	N	N	N
<b>Kryteria weryfikacyjne</b>				
Możliwości oceny niepewności: Analiza czułości i inne	T	T	T	T
Czy porównano wyniki z danymi doświadczalnymi	T	T	T	T
Czy wyniki były publikowane	T	T	T	T
Czy podstawy naukowe na których oparty jest program zostały opublikowane	T	T	T	T
Liczba użytkowników $\geq 100$	T	T	T	T
<b>Kryteria merytoryczne</b>				
Czy występuje baza danych o składnikach spalin	T	T	T	T

Czy zakres danych o substancjach jest wystarczający	T	T	T	T
Typ pakietu	modułowy	pojedynczy	pojedynczy	modułowy
Format importu/exportu danych	Import: Access, ODBC, DBF, ASCII, CSV, graphics, ESRI, SHP, p-GDB, Mapinfo, Tmodel, Emme/2, Tranplan, MinUTP, QRS, TransCAD. Export: Access, DBF, ASCII, CSV, XLS, DXF, graphics, p-GDB, Mapinfo, Tmodel, Emme/2	Import: ASCII, Shape files, dBase Export: ASCII	Import: ASCII, CSV, DBF, BIN, XLS, SHP, DGN, DXF, Tranplan, Emme/2, Tmodel, graphics etc. Export: ASCII, CSV, DBF, BIN, SHP, DXF, graphics, Emme/2, TP+, Tranplan, MinUTP.	Import: dBase, XLS, CSV, ASCII, Shape, graphics. Export: dBase, XLS, CSV, ASCII, Shape
Opcje generacji podróży <sup>1</sup>	a, b, c, dzienne plany aktywności i okresy generacji w ciągu dnia, odpowiednie procedury	a, b, c (każda metoda może być wykorzystana w kalkulatorze macierzy)	a, b, c, wskaźniki ITE, modele logitowe, makra i programy użytkowników	a, b, c, wybór dyskretny aktywności, proces bazujący na rekordach
Opcje dystrybucji podróży <sup>2</sup>	a,b; łańcuch podróży na podstawie schematów aktywności	a, b	a, b, szacowanie i zastosowanie modeli grawitacyjnych, wyboru destynacji	a, b, wybór dyskretny aktywności, proces bazujący na rekordach
Opcje podziału modalnego	Specyficzne modele użytkownika uwzględniające zagnieżdżone modele logitowe, możliwość wykorzystania skryptów visual basic przez VISUM COM	Modele logitowe i zagnieżdżone logitowe, każda funkcja popytu może być zastosowana	Modele logitowe i zagnieżdżone logitowe	Modele logitowe i zagnieżdżone logitowe
Rozkład podróży – ruch <sup>3</sup>	a, b, c, d, e, f; równoważenie bi-kryterialne, rozkład wielopunktowy, itp.	a, b, c, d, e, f; wszechstronna procedura rozkładu, równoważenie wilorodzajowe i wieloklasowe	a, b, c, d, e, f; równoważenie stochastyczne, rozkład na podstawie uogólnionego kosztu, itp.	a, b, c, d, e, f; modelowanie bazujące na węzłach, complex toll, modele HOT i HOV
Rozkład podróży – tranzyt <sup>4</sup>	a, b, c, d – wielościeżkowy multi-path, definowalny model wyboru ścieżki bezpośrednio z badań ankietowych	a, b, c, d; wszechstronna procedura wilorodzajowego i wieloklasowego o rozkładu,	a, b, c, d; stochastyczny rozkład równoważony z przepustowością tras	a, b, c, d dyskretnie bazujące na wielu trasach



		funkcji kosztów, stref opłat i ograniczeń przepustowości		
GIS	Sieci z danymi geograficznymi - współrzędne, dzięki temu możliwość wykorzystania danych GIS	Za pomocą alternatywnego interfejsu.; INRO rozwija procedurę przesyłu danych do i z Arcinfo	Połączenie przez pakiet GIS do ArcView, ArcGIS, MapInfo i Maptitude	Bezpośrednie wykorzystanie ArcGIS, możliwość wykorzystania innych pakietów
Geokodowanie ankiet O-D	Narzędzie zewnętrzne: MapServer i AddressLocator	Brak	Zapewnione przez warstwy ulic i pliki użytkowników	Zapewnione przez połączenie z ARCGIS
Analizy podróży niezmotoryzowanych	Piesi i rowerzyści włączeni w model-łańcuch podróży; przy rozkładzie mogą być modelowane jako zwykłe mody transport korzystające z tej samej sieci lub mające zdefiniowane określone ścieżki	Podróże piesze, rowerowe i inne niezmotoryzowane podróże mogą być modelowane	Oddzielne jak również w pełni zintegrowane sieci	Modelowanie i symulacja podróży pieszych i rowerowych
Kompatybilność z modelami wykorzystania terenu	Wyniki z modelu wykorzystania terenu mogą być importowane celem wykorzystania w procesie modelowania podróży	Interfejs z metodami wykorzystania terenu	Kompatybilny z wirtualnymi modelami wykorzystania terenu	Aktualnie zintegrowany z kilkoma pakietami tego typu

Uwagi:

1. Opcje generowania podróży:
  - a. Analiza regresji
  - b. Klasyfikacja krzyżowa
  - c. Wskaźnik podróży
2. Opcje dystrybucji podróży:
  - d. Model grawitacyjny
  - e. Model FRATARA
  - f. Inne
3. Rozkład podróży – opcjami ruchu są:
  - g. Wszystko albo nic
  - h. Ograniczenia przepustowości
  - i. Skrzyżowania bazujące na ograniczeniu przepustowości
  - j. Stochastyczne/probabilistyczne
  - k. Przyrostowe
  - l. Równoważenie
  - m. Dynamiczne
4. Rozkład podróży – opcjami przejazdu są:
  - n. System przejazdowy
  - o. Trasowanie
  - p. Rozkłady jazdy
  - q. Wiele ścieżek

Tab. 2.3. Szczegółowe porównanie oprogramowania do mikrostymulacji

	<b>Paramics</b>	<b>Vissim</b>	<b>Aimsun</b>
<b>Kryteria ogólne</b>			
Czy program działa w środowisku Windows	T	T	T
Czy występuje identyfikacja w przypadku przekroczenia parametrów	T	T	T
Czy program podaje wartości domyślne parametrów	T	T	T
Czy program wymaga wiedzy eksperckiej	T	T	T
Czy istnieją inne formy pomocy (np. szkolenia)	T	T	T
Czy program pracuje w sieci	T	T	T
Instrukcja w języku polskim	N	T	N
Wyniki liczbowe na ekranie	T	T	T
Dostępność w wersji polskiej	N	T	N
Agencja w Polsce	N	T	N
<b>Kryteria weryfikacyjne</b>			
Możliwości oceny niepewności: Analiza czułości	T	T	T
Czy porównano wyniki z danymi doświadczalnymi	T	T	T
Czy wyniki były publikowane	T	T	T
Czy podstawy naukowe na których oparty jest program zostały opublikowane	T	T	T
Liczba użytkowników $\geq 100$	T	T	T
<b>Kryteria merytoryczne</b>			
Modelowanie sygnalizacji stałoczasowych	T	T	T
Zastosowanie adaptacyjnych sygnalizacji świetlnych	T	T	T
Priorytety dla transportu publicznego	T	T	T
Przepływ pieszych	T	T	N
Modelowanie rond	T	T	T
Congestion charge	T	T	T
Modelowanie niestandardowych węzłów	T	T	T
Uspokojenie ruchu	T	T	N
Modelowanie transportu publicznego	T	T	T
Modelowanie parkingów	T	T	N
Czy występuje baza danych o składnikach spalin	T	T	b.d.

Czy zakres danych o substancjach jest wystarczający	T	T	b.d.
Zaawansowane analizy środowiskowe	T	T	N
Wizualizacja 3D	T	T	T

## 2.3. Przykłady praktycznego zastosowania programów Visum i Vissim

### 2.3.1. Przykłady zastosowania programów Visum i Vissim w analizach i badaniach w obrębie miasta Poznania

Poniżej przedstawiono przykłady opracowań wykonanych z wykorzystaniem programu Visum do analiz transportowych dla Miasta Poznania:

1. Program etapowego rozwoju układu drogowo-ulicznego Poznania do roku 2010 – opracowany w 1998 roku.
2. Program etapowego rozwoju układu drogowo-ulicznego Poznania do roku 2013 – aktualizacja z uwzględnieniem transportu publicznego – opracowany w 2004 roku.
3. Kompleksowe Badania Ruchu 2000 wraz z aktualizacją w 2003 r.
4. Zrównoważony Plan Rozwoju Transportu Publicznego aglomeracji poznańskiej na lata 2007-2015 (Poznański Obszar Metropolitalny) przyjęty Uchwałą Nr CVI/1266/IV/2006 Rady Miasta Poznania z dnia 24.10.2006.
5. Aktualizacja modelu symulacyjnego aglomeracji poznańskiej wraz z prognozami opracowane w 2009 roku.
6. Wielokryterialna ocena wariantów układu transportowego w rejonie os. Kwiatowe – Plewiska – opracowana w 2010 roku.
7. Wielokryterialna ocena wariantów przebudowy ul. Grunwaldzkiej do układu dwujezdniowego na odcinku od ul. Smoluchowskiego do ul. Malwowej opracowana w 2010 roku.
8. Audyt utrudnień w ruchu drogowym miasta Poznania – opracowany w 2011 r.

Dotychczasowe doświadczenia ze stosowania programów Visum i Vissim w Poznaniu wskazują, że mimo wysokich kosztów zakupu i unowocześniania programów są one w obecnych czasach wręcz niezastąpione przy pracach planistycznych, studialnych i operacyjnych. Można powiedzieć, że z uwagi na wyjątkową przydatność i szerokie pole ich stosowania, w przyszłości ich wykorzystanie będzie się stawało coraz bardziej powszechne [17].

Ciągły rozwój transportu i infrastruktury transportowej wymusi wręcz konieczność unowocześniania istniejących wersji programów oraz budowy nowych modeli ruchu nie tylko dla godzin szczytu, ale również dla godzin pozaszczytowych, międzyszczytowych, w soboty inne dni wolne od pracy dla 4 okresów w ciągu roku (zima, wiosna, lato, jesień). Posiadanie takich modeli dodatkowo niewątpliwie znacznie wzbogaci metodykę prac planistycznych, studialnych oraz ułatwi zarządzanie komunikacją zbiorową Zarządowi Transportu Miejskiego i poszczególnym operatorom.

### 2.3.2. Przykład zastosowania programu Vissim w Warszawie

Jednym z ciekawszych projektów w zakresie modernizacji komunikacji zbiorowej wykonanych przy pomocy programu Vissim był eksperyment mikrosymulacyjny wprowadzenia wydzielonego pasa ruchu dla autobusów na ul. Modlińskiej od ul. Obrazkowej do wjazdu na most Grota-Roweckiego w Warszawie. W szczycie porannym, na wymienionym odcinku występowały bardzo trudne warunki ruchowe. Kolejka pojazdów przed łącznicą wjazdową na most miała długość ok. 2,5 km. Przeprowadzone badania napelnień pojazdów osobowych i komunikacji zbiorowej wykazały, że po ulicy Modlińskiej w stronę centrum około połowa podróży wykonywana jest komunikacją zbiorową. Pasażerowie komunikacji zbiorowej znacznie gorzej odczuwają uciążliwości wynikające z występującego stanu zatłoczenia. Po serii artykułów w prasie, które krytykowały ZDM za brak zdecydowanych działań w celu poprawy sytuacji, zwrócono się do Politechniki Warszawskiej z prośbą o wykonanie eksperymentu symulacyjnego dla różnych wariantów rozwiązania usytuowania wydzielonego pasa dla autobusów.

Do zbudowania modelu sieci wykorzystano projekty organizacji ruchu. Wykonano na nich elementy sieci drogowej z wyszczególnieniem takich elementów jak: liczba i szerokości pasów ruchu, długości poszczególnych odcinków, łącznic, odcinków przeplatania, wydzielonych odcinków do relacji skrętnych itp. Dodatkowo wprowadzono przystanki autobusowe i zdefiniowano linie autobusowe. Dla wprowadzania częstotliwości kursowania poszczególnych linii autobusowych wykorzystano rozkłady jazdy autobusów. Na skrzyżowaniach z sygnalizacją wprowadzono sygnalizatory z funkcjonującymi programami sygnalizacji. Wykonany model ul. Modlińskiej miał długość ponad 3 km (od pętli Żerań do ul. Światowida). Wprowadzono wszystkie występujące skrzyżowania na analizowanym ciągu i sygnalizacje świetlne. Do przeprowadzenia analiz wprowadzenia wydzielonego pasa dla autobusów wykonano dodatkowe 2 modele z mikrosymulacją ruchu [17]:

- wariant modelu z pasem dla autobusów po „prawej stronie”,
- wariant modelu z pasem i służą dla autobusów wydzielonym na skrajnym lewym pasie jezdni z przeciwnego kierunku ruchu „kontra pas”.

W celu uzyskania średnich czasów przejazdu pojazdów we wszystkich wariantach w każdym z nich wprowadzono wirtualne odcinki pomiarowe od przystanku autobusowego przy ul. Obrazkowej do łącznicy wjazdowej na most. Dodatkowo w celu uzyskania całkowitych czasów jazdy dla wszystkich pojazdów w sieci wprowadzono wirtualne odcinki pomiarowe o początkach przy generatorach ruchu wjazdowego do obszaru w kierunku centrum i o końcach przed łącznicą wjazdową na most Grota-Roweckiego. Przeprowadzony eksperyment mikrosymulacyjny pokazał, że lepszym rozwiązaniem jest to z wydzielonym pasem autobusowym „po prawej stronie”. Opisany eksperyment doczekał się realizacji. Zarząd Dróg Miejskich na podstawie oceny wyników uzyskanych z eksperymentu wprowadził wydzielony pas dla autobusów na prawym skrajnym pasie ruchu ul. Modlińskiej.

## 2.4. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza dostępnych pakietów oprogramowania do modelowania ruchu drogowego pokazuje, że wybór konkretnego programu nie jest rzeczą prostą. Wynika to chociażby z faktu, iż wszystkie analizowane programy charakteryzują się podobną funkcjonalnością. Z uwagi jednak na oferowane możliwości, powszechne zastosowanie do modelowania układów transportowych (w szczególności w warunkach polskich), możliwość przeprowadzania szerokich analiz środowiskowych zarówno w skali mikro jak i w skali makro oraz prezentację wyników w przystępny sposób najwyżej oceniono pakiet

oprogramowania firmy PTV tj. Visum i Vissim. Nie bez znaczenia pozostaje tutaj fakt, iż programy te są wykorzystywane w wielu jednostkach miejskich zarówno w Poznaniu jak i innych ośrodkach miejskich w Polsce. Ponadto istotnym elementem przy wyborze był również dostęp do instrukcji oprogramowania w języku polskim oraz polski interfejs użytkownika dla programów Visum i Vissim. Z przeprowadzonej analizy w zakresie badań środowiskowych, możliwości rekomendowanego oprogramowania symulacyjnego, przy zastosowaniu odpowiednich modułów dodatkowych (dostępnych z oprogramowaniem), są na właściwym, wymaganym dla realizacji niniejszej dysertacji poziomie, zarówno pod względem analiz makro jak i mikrosymulacyjnych.

### **3. BADANIA STRUMIENI RUCHU DROGOWEGO W POZNANIU I AGLOMERACJI POZNAŃSKIEJ**

#### **3.1. Założenia badań ruchu drogowego**

##### **3.1.1. Cel badań oraz metodyka pomiarów i obliczeń**

Warunki ruchu drogowego należą do głównych czynników wpływających na poziome emisyjności pojazdów. Uważa się, że potencjał obniżenia emisji szkodliwych składników spalin związany z optymalizacją ruchu drogowego jest równie duży jak ten związany z wprowadzaniem niskoemisyjnych pojazdów. Do oceny wpływu ruchu odbywającego się na poszczególnych węzłach komunikacyjnych na środowisko niezbędne jest pozyskanie aktualnych danych ruchowych na danym węźle. Badania ruchu pozwalają zatem na wyznaczenie nie tylko najbardziej obciążonych ruchem węzłów komunikacyjnych, ale także tych które stanowią największe obciążenie dla środowiska. Aktualne i rzetelne dane ruchowe są więc jednym z kluczowych elementów niezbędnych do wiarygodnej estymacji poziomu emisji zanieczyszczeń generowanych przez pojazdy uczestniczące w ruchu na poszczególnych węzłach komunikacyjnych. W badaniach tych należy wziąć pod uwagę ich specyfikę, a w szczególności zmienność natężenia i rozkładu ruchu na węzłach, w zależności od wielu czynników, w tym w szczególności takich jak pora dnia i dzień tygodnia.

Badania mające na celu określenie natężenia ruchu zostały przeprowadzone na terenie miasta Poznań i aglomeracji poznańskiej. W różnych punktach miasta, na wybranych węzłach komunikacyjnych zostało przeprowadzone zliczanie pojazdów pokonujących dane skrzyżowania w różnych kierunkach oraz ilość pasażerów jaka nimi podróżowała. Po wszechstronnej analizie do badań wytypowano węzły drogowe i odcinki o największym natężeniu ruchu oraz o największym znaczeniu komunikacyjnym.

Pomiary natężenia ruchu odbywały się w 3 wyznaczonych dniach tygodnia: wtorek, środa, czwartek w godzinach szczytu porannego (7.00-8.00) oraz popołudniowego (15.00-16.00). Pominięto pozostałe dni tygodnia z uwagi na zaburzenia w typowym ruchu jaki ma miejsce w środku tygodnia – w weekend (sobota, niedziela) ruch w mieście jest znacznie mniejszy, natomiast w poniedziałek oraz piątek jest on wzmożony odpowiednio po i przed weekendem. Pojazdy liczone przez 60 minut, uzyskując parametry natężenia ruchu wyrażone w jednostce na godzinę (poj./h). Na potrzeby dalszych, szczegółowych analiz pojazdy w trakcie pomiarów przyporządkowywano do następujących kategorii:

- samochody osobowe,
- samochody dostawcze,
- samochody ciężarowe,
- autobusy.

##### **3.1.2. Wykaz i opis badanych węzłów komunikacyjnych**

Pomiarów dokonano na głównych drogach dojazdowych do i z centrum miasta. Uzyskane dane wyznaczają napływ / wypływ pojazdów z wszystkich możliwych kierunków. Poszczególne szlaki komunikacyjne i skrzyżowania, na których mierzono natężenie ruchu pojazdów to (rys. 3.1 – 3.9):

- a) Dąbrowskiego/ Lutycka – Węzeł Antoninek (droga krajowa nr 92):
  - A- skrzyżowanie Dąbrowskiego/ Lutycka,
  - B- skrzyżowanie Obornicka/ Lechicka (Rondo Dembowskiego),
  - C- skrzyżowanie Lechicka/ Naramowicka
  - D- skrzyżowanie Lechicka/ Serbska,

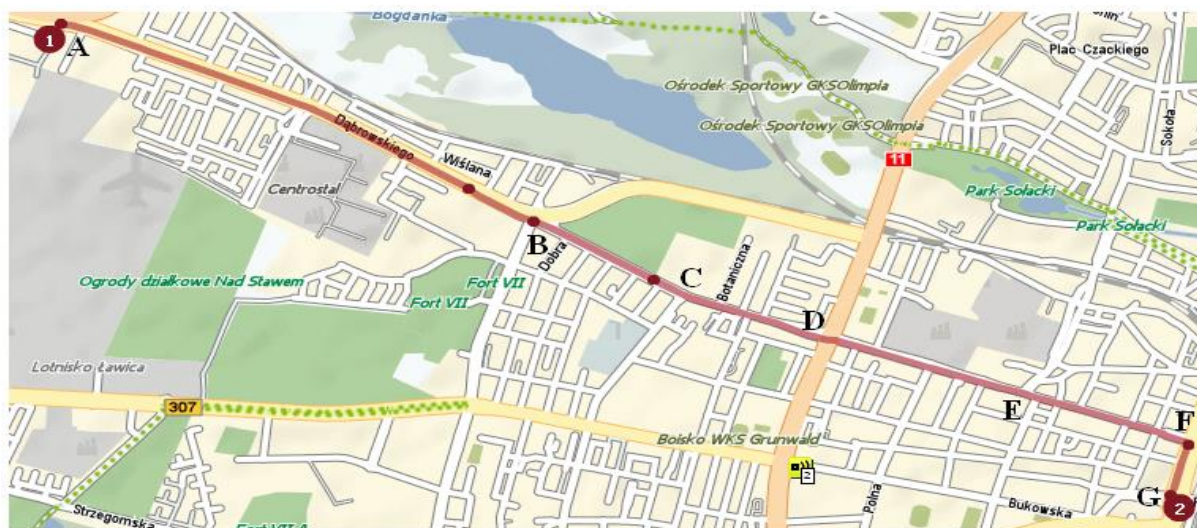
- E- skrzyżowanie Bałtycka/ Augusta Hłonda,
- F- skrzyżowanie Bałtycka/ Gdyńska,
- G- skrzyżowanie Bałtycka/ Gnieźnieńska,
- H- skrzyżowanie Bałtycka/ Warszawska (Węzeł Antoninek).



Rys. 3.1. Przebieg trasy Dąbrowskiego/ Lutycka – Węzeł Antoninek (droga krajowa nr 92) i poszczególne skrzyżowania

b) Dąbrowskiego/ Santocka (Smochowice) – Rondo Kaponiera:

- A- skrzyżowanie Dąbrowskiego/ Santocka,
- B- skrzyżowanie Dąbrowskiego/ Polska,
- C- skrzyżowanie Dąbrowskiego/ Szpitalna,
- D- skrzyżowanie Dąbrowskiego/ Żeromskiego,
- E- skrzyżowanie Dąbrowskiego/ Kościelna,
- F- skrzyżowanie Dąbrowskiego/ Roosevelta,
- G- Rondo Kaponiera.

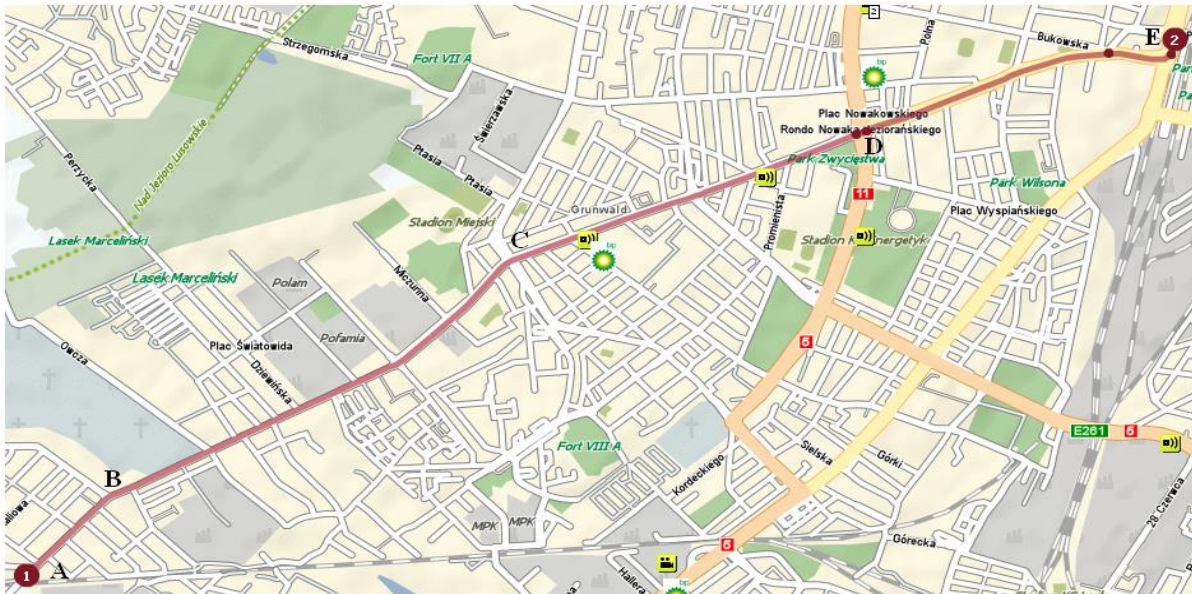


Rys. 3.2. Przebieg trasy Dąbrowskiego/ Santocka – Rondo Kaponiera i poszczególne skrzyżowania

c) Grunwaldzka/ Wołczyńska – Rondo Kaponiera:

- A- skrzyżowanie Grunwaldzka/ Wołczyńska,
- B- skrzyżowanie Grunwaldzka/ Malwowa,
- C- skrzyżowanie Grunwaldzka/ Bułgarska,
- D- skrzyżowanie Grunwaldzka/ Przybyszewskiego (Rondo Jana Nowaka Jeziorańskiego),
- E- Rondo Kaponiera.





Rys. 3.3. Przebieg trasy Grunwaldzka/ Wolczyńska – Rondo Kaponiera i poszczególne skrzyżowania

d) Głogowska/ Ściegienego – Rondo Kaponiera:

- A- skrzyżowanie Głogowska/ Ściegienego,
- B- skrzyżowanie Głogowska/ Hetmańska,
- C- skrzyżowanie Głogowska/ Most Dworcowy,
- D- skrzyżowanie Roosevelta/ Bukowska,
- E- Rondo Kaponiera.



Rys. 3.4. Przebieg trasy Grunwaldzka/ Wolczyńska – Rondo Kaponiera i poszczególne skrzyżowania

e) 28 czerwca 1956 r./ Dolna Wilda – Królowej Jadwigi/ Wierzbicięce:

- A- skrzyżowanie 28 czerwca 1956 r./ Dolna Wilda,
- B- skrzyżowanie 28 czerwca 1956 r./ Czechosłowacka,



- C- skrzyżowanie 28 czerwca 1956 r./ Hetmańska,
- D- skrzyżowanie 28 czerwca 1956 r./ Pamiętkowa
- E- skrzyżowanie Wierzbicice/ Górna Wilda,
- F- skrzyżowanie Królowej Jadwigi/ Wierzbicice.



Rys. 3.5. Przebieg trasy 28 czerwca 1956 r./ Dolna Wilda – Królowej Jadwigi/ Wierzbicice i poszczególne skrzyżowania

f) Głuszyna/ Starołęcka – Plac Wiosny Ludów:

- A- skrzyżowanie Głuszyna/ Starołęcka,
- B- skrzyżowanie Zamenhofs/ Hetmańska (Rondo Starołęka),
- C- skrzyżowanie Zamenhofs/ Bolesława Krzywoustego (Rondo Rataje),
- D- skrzyżowanie Królowej Jadwigi/ Strzelecka,
- E- skrzyżowanie Plac Wiosny Ludów/ Strzelecka,



Rys. 3.6. Przebieg trasy Głuszyna/ Starołęcka – Plac Wiosny Ludów i poszczególne skrzyżowania

g) Węzeł Antoninek – Estkowskiego/ Garbary:

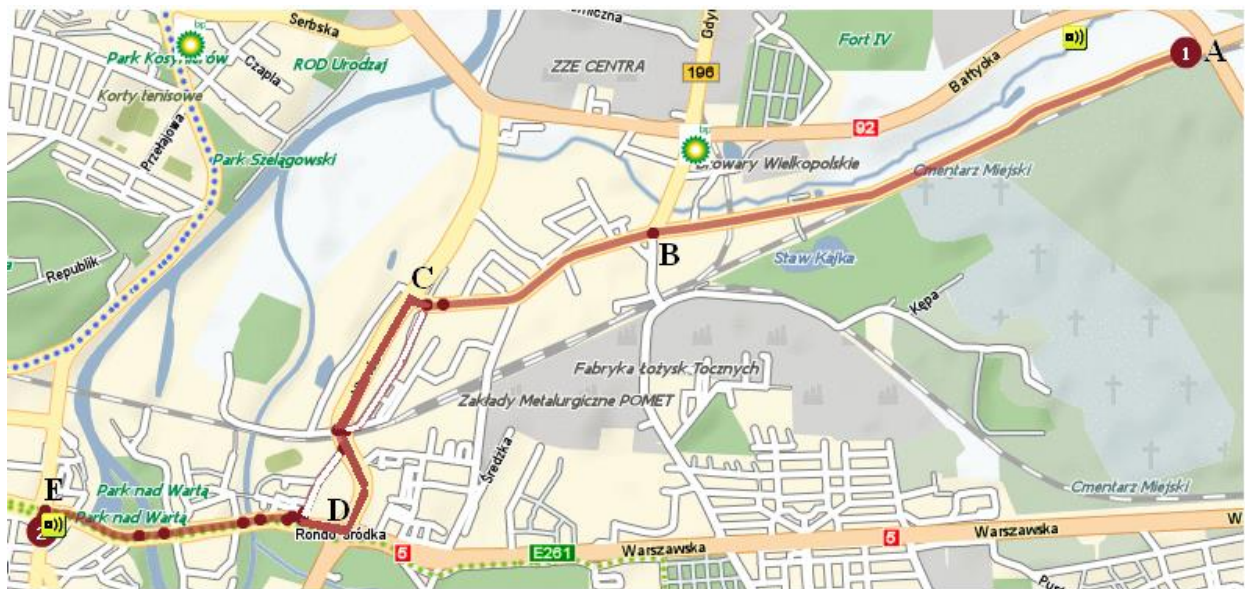
- A- Węzeł Antoninek,
- B- skrzyżowanie Warszawska/ Jana Pawła II (Rondo Śródka),
- C- skrzyżowanie Estkowskiego/ Garbary.



Rys. 3.7. Przebieg trasy Węzeł Antoninek – Estkowskiego/ Garbary i poszczególne skrzyżowania

h) Gnieźnińska/ Bałtycka – Estkowskiego/ Garbary:

- A- skrzyżowanie Gnieźnińska/ Bałtycka,
- B- skrzyżowanie Główna/ Gdyńska,
- C- skrzyżowanie Główna/ Augusta Hlonda,
- D- skrzyżowanie Warszawska/ Jana Pawła II (Rondo Śródka),
- E- skrzyżowanie Estkowskiego/ Garbary,



Rys. 3.8. Przebieg trasy Gnieźnińska/ Bałtycka – Estkowskiego/ Garbary i poszczególne skrzyżowania

i) Obornicka/ Lechicka – Węzeł Komorniki:

- A- skrzyżowanie Obornicka/ Lechicka (Rondo Dembowskiego),
- B- skrzyżowanie Niestachowska/ Świętego Wawrzyńca,
- C- skrzyżowanie Żeromskiego/ Dąbrowskiego,
- D- skrzyżowanie Przybyszewskiego/ Bukowska,
- E- skrzyżowanie Przybyszewskiego/ Grunwaldzka (Rondo Jana Nowaka Jeziorańskiego),
- F- skrzyżowanie Reymonta/ Wyspiańskiego,
- G- skrzyżowanie Reymonta/ Hetmańska,
- H- skrzyżowanie Arciszewskiego/ Ściegiennego,
- I- skrzyżowanie Głogowska/ Ściegiennego,
- J- skrzyżowanie Głogowska/ Kotowo,
- K- Węzeł Komorniki.





Rys. 3.9. Przebieg trasy Obornicka/ Lechicka – Węzeł Komorniki i poszczególne skrzyżowania

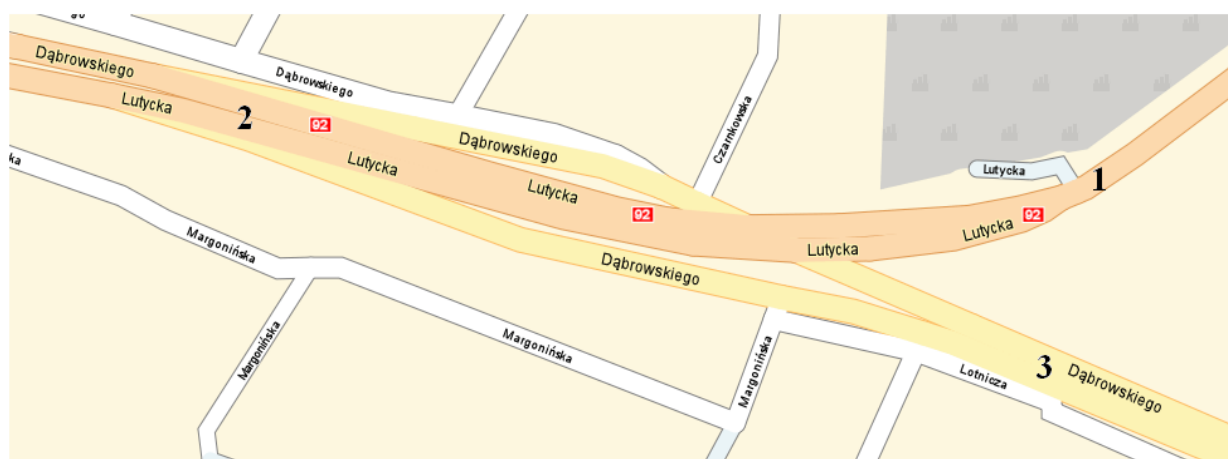
## 3.2. Rozkład natężenia ruchu pojazdów na poszczególnych skrzyżowaniach

Jak już wskazano w rozdziale 3.1. dokonano analizy natężenia ruchu pojazdów dla dziewięciu węzłów komunikacyjnych miasta Poznań i aglomeracji poznańskiej. Z uwagi na obszerność tego typu analiz w pracy przedstawiono pełną analizę tylko dla pierwszego z analizowanych szlaków komunikacyjnych, tj. trasy Dąbrowskiego/ Lutycka – Węzeł Antoninek (droga krajowa nr 92). Dla pozostałych analizowanych węzłów komunikacyjnych przedstawiono natomiast rozkłady natężenia ruchu w postaci kartogramów (załącznik nr 1).

### Skrzyżowanie Dąbrowskiego/ Lutycka

Kartogramy na rys. 1 i 2 (załącznik nr 1) pokazują, iż badane skrzyżowanie (rys. 3.10) jest mocno obciążone przez ruch pojazdów. Podczas szczytu porannego (tab. 3.1) wyraźnie widać, że samochody osobowe kierują się głównie do centrum miasta – powoduje to fakt, iż jest tam skupione dużo celów podróży (praca, szkoła) osób z ościennych miejscowości (Przeźmierowo, Baranowo, Sady, Tarnowo Podgórne). W przypadku pojazdów ciężarowych sytuacja jest zgoła odmienna – przeważająca część pojazdów kieruje się na ulicę Lutycką, co tłumaczy fakt, iż jest to obwodnica miasta oraz „stara” trasa prowadząca na wschód kraju (m. in. do Swarzędza, Wrześni, Konina, Warszawy). Ponadto wzdłuż ulicy Lutyckiej skupione są siedziby firm, zakładów produkcyjnych, do których zmierzają owe pojazdy. Dla samochodów dostawczych sytuacja wygląda nieco odmiennie. Liczba pojazdów zmierzających do centrum daną trasą jest porównywalna z liczbą, jaka kieruje się w przeciwną stronę – powoduje to fakt, iż w dużej mierze samochody dostawcze zaopatrują mniejsze sklepy spożywcze, sklepy mięsne itp., które rozmieszczone są w różnych punktach miasta.

Podczas szczytu popołudniowego (tab. 3.1) ogólna liczba pojazdów pokonujących dane skrzyżowanie jest mniejsza w porównaniu do ilości, jaka została zmierzona w godzinach porannych. Ale ogólna tendencja poruszania się pojazdów nie ulega zmianie – najwięcej samochodów osobowych zmierza z centrum miasta (ulicą Dąbrowskiego) na jego obrzeża (osoby powracające z pracy do domu, jadące na zakupy do Centrum Handlowego Auchan w Swadzimiu itp.). Samochody ciężarowe poruszają się głównie w kierunku z i na obwodnicę, natomiast samochody dostawcze przemieszczają się w taki sam sposób jak podczas szczytu porannego.



Rys. 3.10. Schemat skrzyżowania ulic Dąbrowskiego/ Lutycka

Tab. 3.1. Natężenie ruchu na skrzyżowaniu ulic Dąbrowskiego/ Lutycka w szczycie porannym i popołudniowym (liczba pojazdów/ udział procentowy)

		Pomiary poranne				Pomiary popołudniowe			
Kierunek	Pojazdy osobowe	Pojazdy dostawcze	Pojazdy ciężarowe	Autobusy	Kierunek	Pojazdy osobowe	Pojazdy dostawcze	Pojazdy ciężarowe	Autobusy
1 - 2	492 / 38,5%	378 / 29,6%	372 / 29,1%	36 / 2,8%	1 - 2	348 / 65,8%	84 / 15,9%	72 / 13,6%	25 / 4,7%
2 - 3	2724 / 89%	180 / 5,9%	132 / 4,3%	24 / 0,8%	2 - 3	1320 / 85,9%	180 / 11,7%	24 / 1,6%	12 / 0,8%
2 - 1	696 / 47,2%	288 / 19,5%	444 / 30,1%	48 / 3,2%	2 - 1	516 / 81,4%	24 / 3,8%	60 / 9,8%	32 / 5%
3 - 2	2112 / 89,9%	168 / 7,2%	48 / 2%	21 / 0,9%	3 - 2	1668 / 91,2%	132 / 7,2%	12 / 0,7%	16 / 0,9%

Tab. 3.2. Natężenie ruchu na skrzyżowaniu ulic Obornicka/ Lechicka (Rondo Dembowskiego) w szczycie porannym i popołudniowym (liczba pojazdów/ udział procentowy)

		Pomiary poranne				Pomiary popołudniowe			
Kierunek	Pojazdy osobowe	Pojazdy dostawcze	Pojazdy ciężarowe	Autobusy	Kierunek	Pojazdy osobowe	Pojazdy dostawcze	Pojazdy ciężarowe	Autobusy
1 - 2	108 / 100%	0 / 0%	0 / 0%	0 / 0%	1 - 2	216 / 90%	24 / 10%	0 / 0%	0 / 0%
1 - 3	252 / 56,5%	108 / 24,2%	84 / 18,8%	2 / 0,4%	1 - 3	840 / 80,5%	36 / 3,4%	168 / 16,1%	0 / 0%
1 - 4	60 / 58,8%	30 / 29,4%	12 / 11,8%	0 / 0%	1 - 4	192 / 80%	36 / 15%	12 / 5%	0 / 0%
2 - 3	204 / 94,4%	0 / 0%	12 / 5,6%	0 / 0%	2 - 3	288 / 85,2%	24 / 7,1%	24 / 7,1%	2 / 0,6%
2 - 4	816 / 87%	84 / 9%	36 / 3,8%	2 / 0,2%	2 - 4	492 / 81,7%	72 / 12%	36 / 6%	2 / 0,3%
2 - 1	324 / 87,1%	36 / 9,7%	12 / 3,2%	0 / 0%	2 - 1	276 / 88,5%	36 / 11,5%	0 / 0%	0 / 0%
3 - 4	84 / 52,5%	36 / 22,5%	36 / 22,5%	4 / 2,5%	3 - 4	60 / 88,2%	0 / 0%	6 / 8,8%	2 / 2,9%
3 - 1	468 / 81%	86 / 14,9%	24 / 4,2%	0 / 0%	3 - 1	288 / 73,8%	60 / 7,7%	72 / 18,5%	0 / 0%
3 - 2	228 / 82%	36 / 12,9%	12 / 4,3%	2 / 0,7%	3 - 2	480 / 95,2%	24 / 4,8%	0 / 0%	0 / 0%
4 - 1	84 / 87,5%	12 / 12,5%	0 / 0%	0 / 0%	4 - 1	240 / 83,3%	24 / 8,3%	24 / 8,3%	0 / 0%
4 - 2	912 / 92,5%	62 / 6,3%	12 / 1,2%	0 / 0%	4 - 2	684 / 86,1%	48 / 6%	60 / 7,6%	2 / 0,3%
4 - 3	108 / 72%	36 / 24%	0 / 0%	6 / 4%	4 - 3	288 / 72,4%	60 / 15,1%	48 / 12,1%	2 / 0,5%





Rys. 3.12. Schemat skrzyżowania ulic Lechicka/ Naramowicka

### Skrzyżowanie Lechicka/ Serbska

Rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Lechicka oraz Serbska (rys. 3.13) pokazano na rys 7 i 8 (załącznik nr 1). Ilość pojazdów pokonująca węzeł jest o wiele większa niż na poprzednim skrzyżowaniu (tab. 3.4). Spowodowane jest to tym, że pojazdy zmierzające na skrzyżowanie z poszczególnych kierunków nie mają innych dróg alternatywnych i cały ruch podążający tą trasą przejeżdża przez omawiane skrzyżowanie. Tak jak na wcześniejszych węzłach i w tym przypadku skrzyżowanie jest obciążone w głównej mierze przez samochody osobowe. Duża ich część kieruje się z ulicy Lechickiej na ulicę Serbską – jest to jedna z głównych dróg dojazdowych do centrum miasta dla kierowców podróżujących w tym rejonie. Ponadto podróż komunikacją miejską z tej części miasta jest niełatwa i zajmuje sporo czasu (alternatywą dla transportu indywidualnego są tylko 2 linie autobusowe), co dodatkowo „zachęca” podróżujących do korzystania z własnego środka lokomocji. Pojazdy dostawcze oraz ciężarowe w większości poruszają się tylko ulicą Lechicką, choć część z nich kieruje się na ulicę Serbską, a dalej zapewne w okolice centrum miasta.

### Skrzyżowanie Bałtycka/ Augusta Hłonda

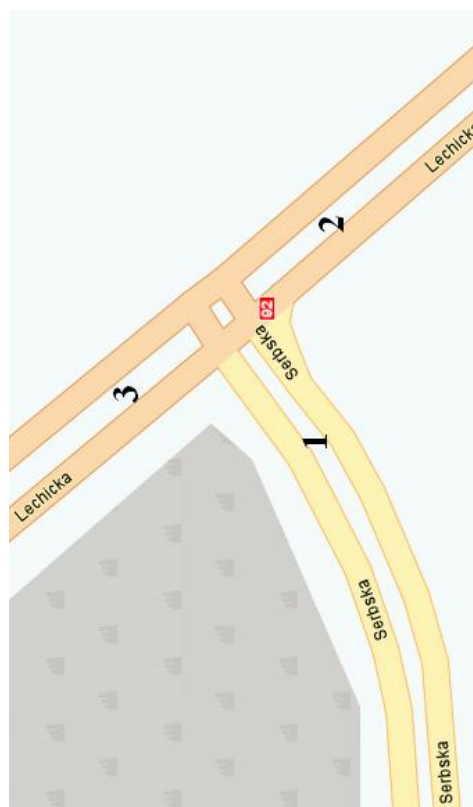
Kartogramy w załączniku nr 1 (rys. 9 i 10) obrazują sytuację jaka ma miejsce na skrzyżowaniu Bałtycka/ Augusta Hłonda (rys. 3.14) w szczycie porannym oraz popołudniowym. Jest to skrzyżowanie łączące dwie drogi krajowe: nr 5 i nr 92 (ulica Augusta Hłonda dochodzi do Ronda Śródka, które jest częścią drogi krajowej nr 5). Przez węzeł przejeżdża duża ilość pojazdów kierujących się na zachód i południe miasta oraz wyjeżdżających z niego w kierunku wschodnim (tab. 3.5). Ponownie największy udział w całości mają pojazdy osobowe.

Podczas pomiarów w szczycie popołudniowym odnotowano mniejszą ilość pojazdów niż w przypadku pomiarów porannych. Tłumaczy to fakt, iż na danym skrzyżowaniu doszło do kongestii, która spowodowała spowolnienie ruchu, a co za tym idzie zmniejszenie liczby pojazdów pokonujących skrzyżowanie w danym czasie.



Tab. 3.3. Natężenie ruchu na skrzyżowaniu ulic Lechicka/ Naramowicka w szczycie porannym i popołudniowym (liczba pojazdów/ udział procentowy)

Pomiary poranne				Pomiary popołudniowe					
Kierunek	Pojazdy osobowe	Pojazdy dostawcze	Pojazdy ciężarowe	Autobusy	Kierunek	Pojazdy osobowe	Pojazdy dostawcze	Pojazdy ciężarowe	Autobusy
1-2	4 / 66,7%	2 / 33,3%	0 / 0%	0 / 0%	1-2	6 / 100%	0 / 0%	0 / 0%	0 / 0%
1-3	212 / 79,7%	14 / 5,3%	36 / 13,5%	4 / 1,5%	1-3	174 / 71,9%	12 / 6,6%	48 / 19,8%	4 / 1,7%
1-4	98 / 84,5%	6 / 6,9%	4 / 3,4%	6 / 5,2%	1-4	102 / 85%	6 / 5%	6 / 5%	6 / 5%
2-3	62 / 86,1%	4 / 5,6%	4 / 8,3%	0 / 0%	2-3	54 / 90%	6 / 10%	0 / 0%	0 / 0%
2-4	190 / 81,9%	20 / 8,6%	10 / 4,3%	12 / 5,2%	2-4	204 / 91,1%	6 / 2,7%	0 / 0%	14 / 6,3%
2-1	42 / 84%	8 / 16%	0 / 0%	0 / 0%	2-1	42 / 87,5%	6 / 12,5%	0 / 0%	0 / 0%
3-4	246 / 85,4%	36 / 12,5%	4 / 1,4%	2 / 0,7%	3-4	222 / 90,2%	18 / 7,3%	6 / 2,4%	0 / 0%
3-1	186 / 68,9%	28 / 10,4%	52 / 19,3%	4 / 1,5%	3-1	120 / 59,4%	30 / 14,9%	48 / 23,8%	4 / 2%
4-1	40 / 87%	0 / 0%	0 / 0%	6 / 13%	4-1	48 / 77,4%	6 / 12,9%	0 / 0%	6 / 9,7%
4-2	182 / 85,8%	16 / 7,5%	0 / 0%	14 / 6,6%	4-2	200 / 91,7%	4 / 1,8%	0 / 0%	14 / 6,4%
4-3	196 / 92,5%	10 / 5,7%	4 / 1,9%	0 / 0%	4-3	198 / 86,8%	24 / 10,5%	6 / 2,6%	0 / 0%



Rys. 3.13. Schemat skrzyżowania ulic Lechicka/ Naramowicka



Rys. 3.14. Schemat skrzyżowania ulic Bałtycka/ Augusta Hlonda

Tab. 3.4. Natężenie ruchu na skrzyżowaniu ulic Lechicka/ Serbska w szczycie porannym i popołudniowym (liczba pojazdów/ udział procentowy)

		Pomiary poranne				Pomiary popołudniowe			
Kierunek	Pojazdy osobowe	Pojazdy dostawcze	Pojazdy ciężarowe	Autobusy	Kierunek	Pojazdy osobowe	Pojazdy dostawcze	Pojazdy ciężarowe	Autobusy
1 – 2	924 / 93,1%	36 / 3,6%	24 / 2,4%	8 / 0,8%	1 – 2	1152 / 93,7%	60 / 4,9%	12 / 1%	6 / 0,5%
1 – 3	24 / 100%	0 / 0%	0 / 0%	0 / 0%	1 – 3	96 / 88,9%	12 / 11,1%	0 / 0%	0 / 0%
2 – 3	468 / 74,5%	84 / 13,4%	72 / 11,5%	4 / 0,6%	2 – 3	576 / 79,6%	84 / 11,6%	60 / 8,3%	4 / 0,6%
2 – 1	804 / 81%	120 / 12,1%	60 / 6%	8 / 0,8%	2 – 1	960 / 94,7%	36 / 3,6%	12 / 1,2%	6 / 0,6%
3 – 1	30 / 75%	10 / 25%	0 / 0%	0 / 0%	3 – 1	28 / 77,8%	8 / 22,2%	0 / 0%	0 / 0%
3 – 2	564 / 65%	156 / 18%	144 / 16,6%	4 / 0,5%	3 – 2	516 / 76,3%	96 / 14,2%	60 / 8,9%	4 / 0,6%

Tab. 3.5. Natężenie ruchu na skrzyżowaniu ulic Bałtycka/ Augusta Hłonda w szczycie porannym i popołudniowym (liczba pojazdów/ udział procentowy)

		Pomiary poranne				Pomiary popołudniowe			
Kierunek	Pojazdy osobowe	Pojazdy dostawcze	Pojazdy ciężarowe	Autobusy	Kierunek	Pojazdy osobowe	Pojazdy dostawcze	Pojazdy ciężarowe	Autobusy
1 – 2	40 / 100%	0 / 0%	0 / 0%	0 / 0%	1 – 2	36 / 100%	0 / 0%	0 / 0%	0 / 0%
1 – 3	84 / 84%	12 / 12%	2 / 2%	2 / 2%	1 – 3	36 / 60%	24 / 40%	0 / 0%	0 / 0%
1 – 4	156 / 95,1%	4 / 2,4%	0 / 0%	4 / 2,4%	1 – 4	112 / 98,2%	2 / 1,8%	0 / 0%	0 / 0%
2 – 4	432 / 78,8%	60 / 10,9%	48 / 8,8%	8 / 1,5%	2 – 4	456 / 70,8%	72 / 11,2%	108 / 16,8%	8 / 1,2%
2 – 3	324 / 83,9%	36 / 9,3%	24 / 6,2%	2 / 0,5%	2 – 3	204 / 73,9%	0 / 0%	72 / 26,1%	0 / 0%
3 – 2	252 / 61,8%	72 / 17,6%	84 / 20,6%	0 / 0%	3 – 2	132 / 77,6%	12 / 7,1%	24 / 14,1%	2 / 1,2%
3 – 1	180 / 83,3%	24 / 11,1%	12 / 5,6%	0 / 0%	3 – 1	180 / 92,8%	12 / 6,2%	0 / 0%	2 / 1%
3 – 4	480 / 63%	216 / 28,3%	60 / 7,9%	6 / 0,8%	3 – 4	348 / 87%	36 / 9%	12 / 3%	4 / 1%
4 – 3	768 / 77,9%	120 / 12,2%	96 / 9,7%	2 / 0,2%	4 – 3	528 / 90,7%	24 / 4,1%	24 / 4,1%	6 / 1%
4 – 2	768 / 69,1%	168 / 15,1%	168 / 15,1%	8 / 0,7%	4 – 2	840 / 90,1%	60 / 6,4%	24 / 2,6%	8 / 0,9%

### Skrzyżowanie Bałtycka/ Gdyńska

Kolejne omawiane skrzyżowanie to splot ulic Bałtycka i Gdyńska (rys. 3.15). Jest to kolejny ważny węzeł na badanej trasie. Choć natężenie ruchu jakie odnotowano nie jest największe to i tak ilość pojazdów pokonująca ten węzeł jest znaczna (tab. 3.6). Wśród wszystkich pojazdów przeważają osobowe, ale ilość samochodów dostawczych, ciężarowych czy autobusów odgrywa znaczącą rolę (stanowią one około 15 – 20% ogółu pojazdów). Liczbę pojazdów na skrzyżowaniu tłumaczy fakt, iż ulica Gdyńska to droga dojazdowa do miasta z pobliskich większych miejscowości (Owińska, Bolechowo, Czerwonak), w których zlokalizowane są nie tylko osiedla mieszkalne, ale również wiele miejsc pracy (przedsiębiorstwa, zakłady produkcyjne itp.).

Ogólna tendencja i liczba pojazdów pokonujących skrzyżowanie w godzinach porannych jest porównywalna do sytuacji mającej miejsce po południu (rys. 11 i 12/ załącznik nr 1). Z miasta wyjeżdża podobna liczba pojazdów do tej, która rano zmierzała w kierunku centrum.



Rys. 3.15. Schemat skrzyżowania ulic Bałtycka/ Gdyńska

### Skrzyżowanie Bałtycka/ Gnieźnieńska

Przedostatnie skrzyżowanie na założonej trasie to zbieg ulic Bałtycka i Gnieźnieńska (rys. 3.16). Jest to kolejne ważne skrzyżowanie łączące drogę krajową nr 92 z drogą dojazdową do miasta od strony takich miejscowości jak Bogucin, Kobylnica czy Pobiedziska (droga krajowa nr 5). Ogólną liczbę pojazdów tworzą jak zwykle w większości pojazdy osobowe, chociaż w porównaniu z pozostałymi skrzyżowaniami odnotowano tu znaczne udziały pojazdów dostawczych czy ciężarowych (tab. 3.7).

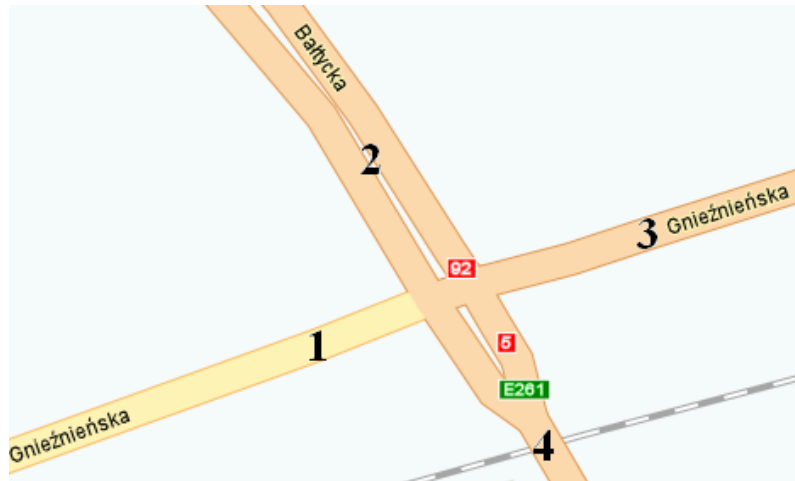
Natężenie ruchu na skrzyżowaniu pokazano na rys. 13 i 14 (załącznik nr 1). W obydwu przypadkach (pomiar poranne i popołudniowe) większość samochodów podróżuje ulicą Bałtycką. Jednakże nasilenie ruchu w kierunku poprzecznym jest również stosunkowo duże. Spora część pojazdów (zwłaszcza ciężarowych i dostawczych) kieruje się z obwodnicy miasta na ulicę Gnieźnieńską (w kierunku Gniezna), co jest podyktowane tym, iż jest to połączenie dwóch dróg krajowych. Ponadto wzdłuż drogi krajowej nr 5 zlokalizowane są przedsiębiorstwa, firmy, hale magazynowe, do których dojeżdża wiele pojazdów, zwłaszcza ciężarowych.

Tab. 3.6. Natężenie ruchu na skrzyżowaniu ulic Bałtycka/ Gdynńska w szczytce porannym i popołudniowym (liczba pojazdów/ udział procentowy)

Pomiary poranne						Pomiary popołudniowe								
Kierunek	Pojazdy osobowe	Pojazdy dostawcze	Pojazdy ciężarowe	Autobusy	Kierunek	Pojazdy osobowe	Pojazdy dostawcze	Pojazdy ciężarowe	Autobusy	Kierunek	Pojazdy osobowe	Pojazdy dostawcze	Pojazdy ciężarowe	Autobusy
1-2	86 / 87,8%	10 / 10,2%	2 / 2%	0 / 0%	1-2	84 / 95,5%	0 / 0%	2 / 2,3%	2 / 2,3%	1-2	84 / 95,5%	0 / 0%	2 / 2,3%	2 / 2,3%
1-3	58 / 82,9%	4 / 5,7%	2 / 2,9%	6 / 8,6%	1-3	96 / 88,9%	6 / 5,6%	0 / 0%	6 / 5,6%	1-3	96 / 88,9%	6 / 5,6%	0 / 0%	6 / 5,6%
1-4	26 / 81,3%	6 / 18,8%	0 / 0%	0 / 0%	1-4	20 / 90,9%	2 / 9,1%	0 / 0%	0 / 0%	1-4	20 / 90,9%	2 / 9,1%	0 / 0%	0 / 0%
2-1	72 / 90%	6 / 7,5%	0 / 0%	2 / 2,5%	2-1	12 / 75%	0 / 0%	4 / 25%	0 / 0%	2-1	12 / 75%	0 / 0%	4 / 25%	0 / 0%
2-4	140 / 92,1%	12 / 7,9%	0 / 0%	0 / 0%	2-4	120 / 90,9%	0 / 0%	12 / 9,1%	0 / 0%	2-4	120 / 90,9%	0 / 0%	12 / 9,1%	0 / 0%
2-3	16 / 66,7%	6 / 25%	2 / 8,3%	0 / 0%	2-3	28 / 66,7%	8 / 19%	6 / 14,3%	0 / 0%	2-3	28 / 66,7%	8 / 19%	6 / 14,3%	0 / 0%
3-2	50 / 73,5%	18 / 26,5%	0 / 0%	0 / 0%	3-2	42 / 100%	0 / 0%	0 / 0%	0 / 0%	3-2	42 / 100%	0 / 0%	0 / 0%	0 / 0%
3-1	116 / 81,7%	18 / 12,7%	2 / 1,4%	6 / 4,2%	3-1	184 / 96,8%	0 / 0%	0 / 0%	6 / 3,2%	3-1	184 / 96,8%	0 / 0%	0 / 0%	6 / 3,2%
3-4	148 / 79,6%	24 / 12,9%	10 / 5,4%	4 / 2,2%	3-4	120 / 84,5%	12 / 8,5%	6 / 4,2%	4 / 2,8%	3-4	120 / 84,5%	12 / 8,5%	6 / 4,2%	4 / 2,8%
4-3	126 / 90%	8 / 5,7%	2 / 1,4%	4 / 2,9%	4-3	138 / 84,1%	12 / 7,3%	10 / 6,1%	4 / 2,4%	4-3	138 / 84,1%	12 / 7,3%	10 / 6,1%	4 / 2,4%
4-2	126 / 75%	34 / 20,2%	8 / 4,8%	0 / 0%	4-2	190 / 84,1%	30 / 13,3%	6 / 2,7%	0 / 0%	4-2	190 / 84,1%	30 / 13,3%	6 / 2,7%	0 / 0%
4-1	80 / 80%	2 / 20%	0 / 0%	0 / 0%	4-1	16 / 80%	4 / 20%	0 / 0%	0 / 0%	4-1	16 / 80%	4 / 20%	0 / 0%	0 / 0%

Tab. 3.7. Natężenie ruchu na skrzyżowaniu ulic Bałtycka/ Gnieźnieńska w szczytce porannym i popołudniowym (liczba pojazdów/ udział procentowy)

Pomiary poranne						Pomiary popołudniowe								
Kierunek	Pojazdy osobowe	Pojazdy dostawcze	Pojazdy ciężarowe	Autobusy	Kierunek	Pojazdy osobowe	Pojazdy dostawcze	Pojazdy ciężarowe	Autobusy	Kierunek	Pojazdy osobowe	Pojazdy dostawcze	Pojazdy ciężarowe	Autobusy
1-3	216 / 72%	84 / 28%	0 / 0%	0 / 0%	1-3	244 / 96,1%	10 / 3,9%	0 / 0%	0 / 0%	1-3	244 / 96,1%	10 / 3,9%	0 / 0%	0 / 0%
1-4	72 / 76,6%	22 / 23,4%	0 / 0%	0 / 0%	1-4	60 / 100%	0 / 0%	0 / 0%	0 / 0%	1-4	60 / 100%	0 / 0%	0 / 0%	0 / 0%
1-2	230 / 95%	12 / 5%	0 / 0%	0 / 0%	1-2	30 / 93,8%	0 / 0%	0 / 0%	2 / 6,3%	1-2	30 / 93,8%	0 / 0%	0 / 0%	2 / 6,3%
2-1	72 / 59%	48 / 39,3%	0 / 0%	2 / 1,6%	2-1	48 / 55,8%	36 / 41,9%	0 / 0%	2 / 2,3%	2-1	48 / 55,8%	36 / 41,9%	0 / 0%	2 / 2,3%
2-4	540 / 73,2%	72 / 9,8%	120 / 16,3%	6 / 0,8%	2-4	564 / 82,2%	82 / 12%	36 / 5,2%	4 / 0,6%	2-4	564 / 82,2%	82 / 12%	36 / 5,2%	4 / 0,6%
2-3	144 / 56,7%	36 / 14,2%	72 / 28,3%	2 / 0,8%	2-3	192 / 73,3%	54 / 20,6%	16 / 6,1%	0 / 0%	2-3	192 / 73,3%	54 / 20,6%	16 / 6,1%	0 / 0%
3-2	120 / 59,4%	58 / 28,7%	24 / 11,9%	0 / 0%	3-2	252 / 58,3%	78 / 18,1%	96 / 22,2%	6 / 1,4%	3-2	252 / 58,3%	78 / 18,1%	96 / 22,2%	6 / 1,4%
3-1	264 / 91%	12 / 4,1%	12 / 4,1%	2 / 0,7%	3-1	132 / 73,3%	24 / 13,3%	24 / 13,3%	0 / 0%	3-1	132 / 73,3%	24 / 13,3%	24 / 13,3%	0 / 0%
3-4	240 / 75,9%	76 / 24,1%	0 / 0%	0 / 0%	3-4	24 / 50%	24 / 50%	0 / 0%	0 / 0%	3-4	24 / 50%	24 / 50%	0 / 0%	0 / 0%
4-3	132 / 84,6%	24 / 15,4%	0 / 0%	0 / 0%	4-3	156 / 72,2%	36 / 16,7%	24 / 11,1%	0 / 0%	4-3	156 / 72,2%	36 / 16,7%	24 / 11,1%	0 / 0%
4-2	180 / 57,3%	98 / 31,2%	36 / 11,5%	0 / 0%	4-2	324 / 55,7%	136 / 23,4%	96 / 16,5%	2 / 4,5%	4-2	324 / 55,7%	136 / 23,4%	96 / 16,5%	2 / 4,5%

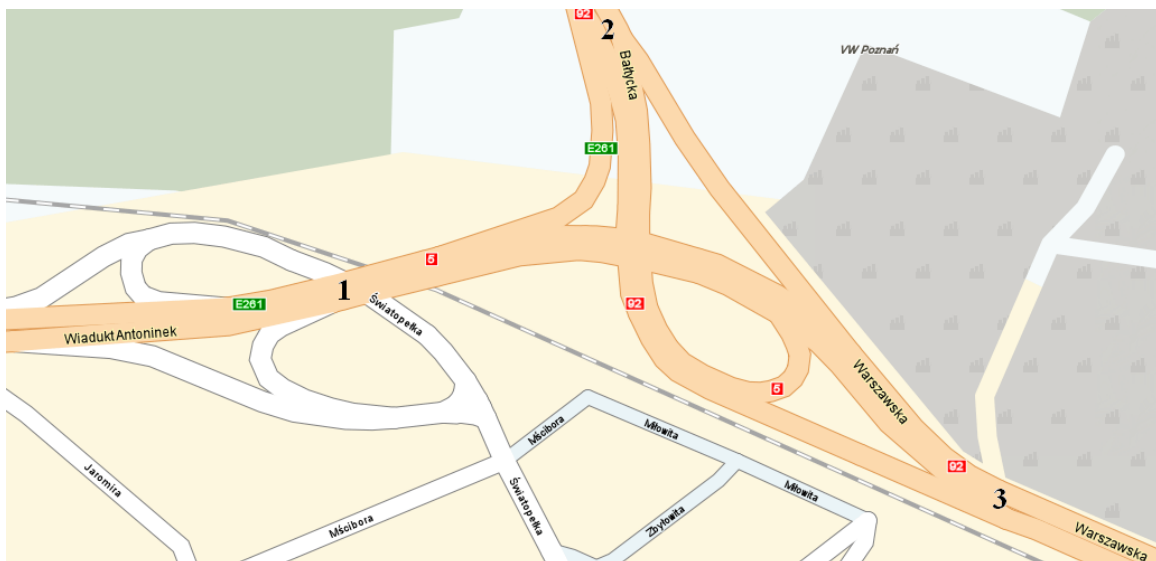


Rys. 3.16. Schemat skrzyżowania ulic Bałtycka/ Gnieźnińska

### Skrzyżowanie Bałtycka/ Warszawska (Węzeł Antoninek)

Ostatnie skrzyżowanie na badanej trasie to ważny punkt komunikacyjny miasta. Węzeł Antoninek (rys. 3.17) odgrywa ogromną rolę w przepływie transportu w tej części miasta, co pokazano na kartogramach (rys. 15 i 16/ załącznik nr 1). Codziennie przejeżdża przez niego duża liczba pojazdów we wszystkich możliwych kierunkach (tab. 3.8). Skrzyżowanie jest połączeniem drogi międzynarodowej E261 (droga krajowa nr 5) z drogą krajową nr 92 – fakt ten tylko potwierdza to, jak duża liczba samochodów pokonuje wiadukt zlokalizowany we wschodniej części miasta.

Najwięcej pojazdów jakie odnotowano podczas pomiarów (zarówno tych porannych jak i popołudniowych) to samochody osobowe (około 75% ogółu). Dodatkowo liczbę tę potęguje ilość samochodów ciężarowych, która jest zrozumiała biorąc pod uwagę fakt, iż omawiany wiadukt jest połączeniem szlaku międzynarodowego z trasą krajową. Autobusy odnotowano tylko na jednym kierunku (1 – 3 oraz 3 – 1), jest to efekt prowadzonych tą trasą linii autobusowych MPK oraz WirazBUS (komunikacja podmiejska miasta Swarzędz).



Rys. 3.17. Schemat skrzyżowania ulic Bałtycka/ Warszawska (Węzeł Antoninek)

Tab. 3.8. Natężenie ruchu na skrzyżowaniu ulic Bałtycka/ Warszawska (Węzeł Antoninek) w szczytce porannym i popołudniowym (liczba pojazdów/ udział procentowy)

Kierunek	Pomiary poranne					Pomiary popołudniowe				
	Pojazdy osobowe	Pojazdy dostawcze	Pojazdy ciężarowe	Autobusy	Kierunek	Pojazdy osobowe	Pojazdy dostawcze	Pojazdy ciężarowe	Autobusy	
1 – 3	792 / 86,1%	108 / 11,7%	10 / 1,1%	10 / 1,1%	1 – 3	1368 / 92,9%	72 / 4,9%	24 / 1,6%	8 / 0,5%	
2 – 3	324 / 54%	96 / 16%	180 / 30%	0 / 0%	2 – 3	456 / 74,3%	60 / 9,8%	96 / 15,6%	2 / 0,3%	
3 – 2	996 / 92,2%	72 / 6,7%	12 / 1,1%	0 / 0%	3 – 2	328 / 79,6%	36 / 8,7%	48 / 11,7%	0 / 0%	
3 – 1	300 / 64,1%	48 / 10,3%	108 / 23,1%	12 / 2,6%	3 – 1	540 / 79,4%	120 / 17,6%	12 / 1,8%	8 / 1,2%	

### **3.3. Najbardziej obciążone ruchem węzły drogowe**

Na podstawie wykonanych badań natężenia i rozkładu ruchu drogowego w mieście Poznaniu i aglomeracji poznańskiej wskazano poniższe węzły drogowe, jako w największym stopniu obciążone ruchem pojazdów:

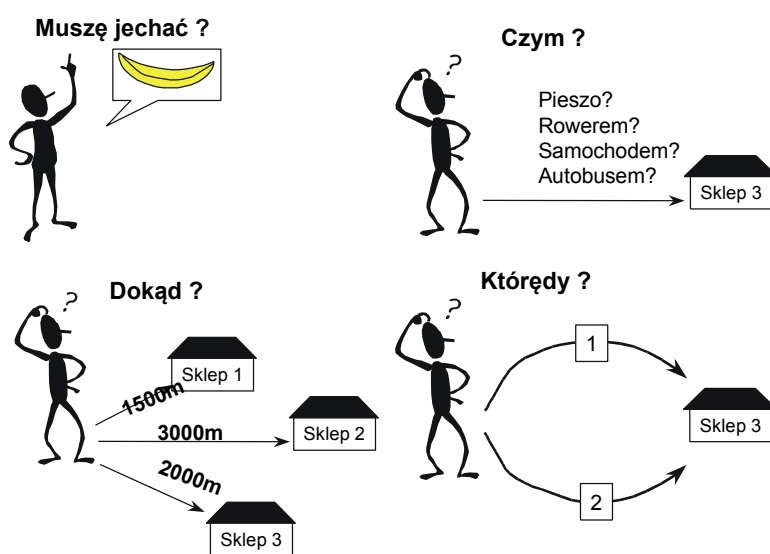
- Rondo Śródka,
- Rondo Rataje,
- Rondo Starołęka,
- Rondo Kaponiera,
- Rondo Jana Nowaka Jeziorańskiego i Dembowskiego,
- Węzeł Antoninek,
- Estkowskiego/ Garbary,
- Głogowska/ Most Dworcowy,
- Głogowska/ Bukowska,
- Dąbrowskiego/ Żeromskiego,
- Reymonta/ Hetmańska.

## 4. WERYFIKACJA I AKTUALIZACJA MODELU RUCHU

### 4.1. Model ruchu – informacje ogólne

Klasyczne podejście do opracowania modelu symulacyjnego układu komunikacyjnego miasta polega na tzw. podejściu cztero-stadiowym, uwzględniającym cztery etapy podróżowania: generację podróży, rozkład przestrzenny podróży, podział zadań przewozowych oraz rozkład ruchu w sieci transportowej. Zgodnie z powyższym na model ruchu składają się cztery grupy modeli matematycznych, z których każdy odzwierciedla jeden z czterech elementów decyzji każdego podróżnego: czy podróż podjąć, do jakiego miejsca ją odbyć, jakim środkiem transportowym i którą z możliwych tras podróży wybrać (rys. 4.1) [5, 71].

Model ruchu formowany jest na podstawie badań statystycznych w postaci komputerowego, matematycznego zapisu wzorców zachowań komunikacyjnych mieszkańców i przybyszów do obszaru badań, zależnych od czynników wpływających na ich decyzje. Wynik decyzji statystycznego mieszkańca zależy przy tym od szeregu takich czynników stymulujących jak dostęp do komunikacji (np. posiadanie samochodu, roweru, odległość od przystanku o określonej atrakcyjności, itp.), pozycja i rola osoby w rodzinie oraz w życiu zawodowym, motywacja – czyli korzyści, które można odnieść z podróży, przestrzenna lokalizacja różnych dóbr oraz warunki i koszty podróżowania. Wszystkie te cechy określane są jako czynniki ruchotwórcze – decydują one o intensywności oraz sposobach podróżowania.

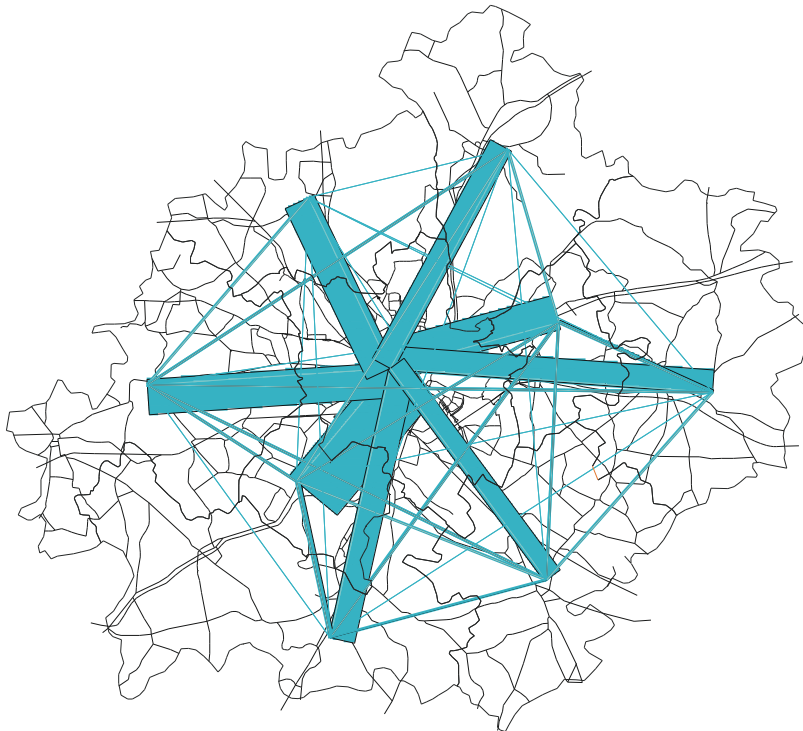


Rys. 4.1. Proces podejmowania decyzji o realizacji podróży [71]

W modelach ruchu konstruowany jest wyrafinowany matematycznie związek pomiędzy czynnikami ruchotwórczymi a decyzjami komunikacyjnymi. Zastosowanie znajduje tutaj ogólna teoria ruchu, przez dopasowanie jej ogólnych praw do lokalnej rzeczywistości w oparciu o badanie statystyczne. Badanie statystyczne opiera się na losowaniu spośród znanej i przeliczalnej zbiorowości osób, z którymi przeprowadza się wywiad – ankietę statystyczną. W ten sposób określa się statystyczny opis liczby podróży (potencjałów produkcji ruchu w mikroobszarach – tak zwanych rejonach komunikacyjnych) i ilościowego ukierunkowania tej „produkcji” do innych rejonów komunikacyjnych (zwany więźbą lub macierzą ruchu –



rysunek 4.2), podział zadań przewozowych oraz rozkład ruchu w sieci, pozwalający uzyskać obraz potoków transportowych w sieci [75].



Rys. 4.2 Graficzne odwzorowanie więźby ruchu [6]

W przeciwieństwie do wyników zwykłych pomiarów natężeń ruchu, model ruchu pomaga przewidywać zmiany zachowań komunikacyjnych w warunkach zmian w kształcie sieci transportowej i całokształcie zmian w czynnikach ruchotwórczych – czyli zmian w organizacji ruchu, w dostępie do motoryzacji i przystanków komunikacyjnych, w komunikacyjnym rozkładzie jazdy, w zagospodarowaniu przestrzennym, w warunkach, czasie i w kosztach przejazdów. Tak więc model ruchu pozwala ocenić reakcję popytu na zmiany w rozbudowywanych i przekształcanych sieciach komunikacyjnych, w tym również wpływ tych zmian na stan sieci (warunki podróżowania, parametry środowiskowe, itp.). Badania i model ruchu stanowią także podstawę dla prognoz ruchu. Ponieważ w dłuższym czasie następują zmiany w zewnętrznych czynnikach ruchotwórczych – zagospodarowaniu terenów, sytuacji rodzin, strukturze zawodowej mieszkańców, możliwa jest aktualizacja modelu lub prognoza modelu ruchu. Prognoza pozwala także określić wieloletnie skutki przedsięwzięć inwestycyjnych i prawidłowo ocenić potoki w przedsięwzięciach planowanych po dłuższym okresie czasu, a dla których należy rezerwować odpowiednie tereny lub dla których powinno się uwzględnić kształt wcześniej realizowanych rozwiązań komunikacyjnych [64, 71].

## 4.2. Model ruchu opracowany na podstawie Kompleksowych Badań Ruchu

Model ruchu w ramach Kompleksowych Badań Ruchu 2000 (KBR 2000) opracowany został w programie Visum firmy PTV. Podejście wykorzystane przy przeprowadzaniu badań ankietowych w ramach KBR 2000 oraz tworzonych na ich bazie modelu ruchu charakteryzowało się trzema wzajemnie spójnymi podstawowymi założeniami [5]:

1. Weryfikacja modelu przez wynik pomiaru była zasadniczym i głównym warunkiem wiarygodności modelu. Podstawową rolę odgrywała więc metodyka pomiarów. W niektórych aspektach model praktycznie był „tworzony” przez wyniki pomiaru, podczas gdy badania ankietowe były traktowane jako źródło danych o pewnych parametrach modelowania i zarazem statystyczna baza dla budowy podstawowych i niemierzalnych parametrów modeli.
2. Ponieważ ruch jest zmienny (rozmyty w sensie matematycznym) uchwycenie zmienności ruchu jest istotnym atrybutem badań kompleksowych. Dlatego też w ramach KBR 2000 konieczne było opisanie relacji pomiędzy standardowym ruchem dobowym a ruchem rocznym, dobowym ruchem standardowym a ruchem modelowanym (wynikającym z opisu różnych zdarzeń zachodzących zwykle w ciągu kilkudziesięciu różnych dni w trakcie których prowadzone były badania). Praktycznie bez badań zmienności ruchu nie wiadomo na ile wyniki badań kompleksowych realizowanych praktycznie co dziesięć a nawet więcej lat pozostają aktualne, a także na ile są reprezentatywne dla konkretnych problemów.
3. Celem całościowo traktowanych badań kompleksowych było uzyskanie wyników o możliwie największej dokładności, nawet w stosunku do cech mało liczebnych.

Istotą wykorzystanego podejścia było zastosowanie w modelowaniu ruchu procedur symulacyjnych iterujących parametry modelu w procesie kalibracji do poziomu maksymalnej zgodności z pomiarem, włącznie z cechami o małej liczebności (np. słabo obciążonej linii komunikacyjnej). Przy takim podejściu mniejsze znaczenie miało modelowanie ruchu według struktur motywacyjnych, bowiem słabe nawet poziomy zdeterminowania niektórych cech przez model matematyczny nie miały znaczenia dla uzyskania chociażby dobrego odwzorowania rozkładu ruchu w godzinie szczytu.

Modele ruchu opracowane dla obszaru Poznania i Powiatu Ziemskiego Poznańskiego w ramach KBR 2000 stanowiły statystyczne odwzorowanie decyzji o podejmowaniu podróży na podstawie opisów sytuacji i podróży zarejestrowanych w 8 000 wylosowanych gospodarstw domowych rozmieszczonych w 391 tak zwanych „rejonach komunikacyjnych”. Operacja badań ankietowych i pomiarów ruchu na obszarze Poznania oraz powiatu poznańskiego stanowiła wtedy największe przedsięwzięcie co do liczby badanych gospodarstw i ilości pomiarów w historii kompleksowych badań ruchu w Polsce. Badania ankietowe przeprowadzono we wspomnianych 8 023 gospodarstwach domowych, ale także wśród 996 osób zamieszkujących domy akademickie i internaty, na 41 wlotach drogowych do obszaru powiatu ziemskiego, na 61 dworcach, stacjach i przystankach kolejowych, wśród taksówkarzy i kierowców ciężarówek. Zarazem operacja badań i pomiarów została przeprowadzona w rekordowo krótkim czasie – dwóch tygodni – co miało istotne znaczenie wobec codziennych, sezonowych i międzyweekendowych zmienności ruchu.

Zbudowany model ruchu został zweryfikowany i dopasowany do rzeczywistości w oparciu o wyniki pomiarów natężeń potoków pojazdów, potoków pasażerskich oraz potoków ładunków. Pomiaru przeprowadzono w ponad 600 punktach całego obszaru. Punkty pomiarowe utworzyły tak zwane ekrany – na mostach na Warcie i na dwóch osiach linii kolejowych oraz kordony – wokół centrum, miasta Poznania, na granicach powiatu, także wokół 61 stacji i dworców komunikacji zewnętrznej (to jest wyprowadzających potoki poza

obszar badania). Krótkie godzinne pomiary przeprowadzono na sieci dróg w obszarze powiatu, tworząc „minikordony” wokół wielu miejscowości powiatu ziemskiego. Na blisko 100 skrzyżowaniach klasyczne pomiary pozwoliły kontrolować najważniejsze modelowe rozkłady potoków na trasach modelowanej sieci drogowej.

Utworzony w wyniku prac nad modelem ruchu, model sieci obejmował sieć drogową, wszystkie jej atrybuty wpływające na warunki ruchu, a także sieć komunikacji zbiorowej – rozkłady jazdy na liniach komunikacyjnych poznańskiego MPK, przedsiębiorstw gminnych komunikacji podmiejskiej, PKS i kolei oraz trasy i przystanki w sieci. Model ruchu obejmował podróże mieszkańców i przybyszów w systemie komunikacji publicznej oraz w komunikacji indywidualnej (ruch samochodowy).

Terytorium Poznania podzielono na 199 rejonów komunikacyjnych obszarowych oraz 18 rejonów węzłowych, obejmujących: stacje i dworce kolejowe, autobusowy (PKS) i portu lotniczego Ławica. Obszar poznańskiego powiatu ziemskiego podzielono na 131 rejonów komunikacyjnych obszarowych i 43 węzły (stacje PKP). Łącznie w obszarze badań występowało 391 rejonów komunikacyjnych, co dało średnią liczbę mieszkańców w rejonie nieco większą od 2 tys., pomijając zaś rejony węzłowe – 330 rejonów obszarowych o średnim potencjale około 2,5 tys. mieszkańców. Strukturę tego podziału przedstawiono na rysunku 4.3.



Rys. 4.3. Podział na rejony komunikacyjne – model sieci według KBR 2000 [5]

W zasięgu badań poznańskiego powiatu ziemskiego, zamieszkanego przez 849,3 tys. osób, w wyniku KBR określono, że w dobie realizowanych było 1,885 mln podróży, w tym 0,337 mln podróży pieszych. Statystyczny mieszkaniec obszaru KBR realizował dziennie 2,22 podróży, w tym 1,82 podróży niepieszej w dobie. Mieszkańcy Poznania realizowali łącznie 1,446 mln podróży, w tym 0,265 mln podróży pieszych. Dotyczy to 593,8 tys. osób zamieszkałych w Poznaniu (około 10 tys. poza rejestrem meldunkowym i statystyką GUS). Dało to wskaźniki 2,44 podróży na mieszkańca, w tym 1,99 podróży niepieszej. Określono jednocześnie, że ruchliwość mieszkańców była znacznie zróżnicowana zarówno w odniesieniu do mieszkańców poszczególnych rejonów Poznania jak i mieszkańców miast oraz rejonów nieurbanizowanych w powiecie ziemskim. Związane było to głównie z trzema czynnikami:

- strukturą socjo-ekonomiczną ludności (wskaźnikami osób zawodowo czynnych zatrudnionych poza rolnictwem i osób uczących się),
- dostępem do systemu transportowego,
- zasięgiem i atrakcyjnością celów dostępnych pieszo, a także czasem podróży do obszarów o dużej atrakcyjności.

W wyniku analizy ruchu zewnętrznego do i z obszaru KBR odzwierciedlonej w modelu ruchu określono, że przybysze do obszaru KBR zrealizowali w nim 160,9 tys. podróży. Wynik przedstawiono w postaci sumy potencjałów produkcji i atrakcji (296,4 tys.), co oznacza podwójne zliczenie każdej z 148 tys. podróży (różnica obu liczb uwzględnia 7,3 tys. przejazdów tranzytowych samochodów osobowych z około 12,9 tys. pasażerami). Obszar KBR dziennie absorbował i generował w kierunku odwrotnym po 74 tys. podróży przybyszów, z czego 57% przypadało na samochód, 43% na różne formy transportu publicznego. Macierz globalna podróży uformowana została dla 1,908 mln podróży. Składała się na nią:

- 1,250 mln podróży wewnętrznych w obszarze administracyjnym Poznania,
- 177,2 tys. podróży wewnętrznych powiatu ziemskiego,
- 252,3 tys. podróży między Poznaniem i powiatem ziemskim,
- 159,1 tys. podróży między Poznaniem i strefą zewnętrzną do obszaru KBR,
- 57,1 tys. podróży pomiędzy powiatem ziemskim i strefą zewnętrzną obszaru KBR,
- 12,9 tys. podróży tranzytowych przez obszar KBR.

Poznań odgrywał dominującą rolę w budowaniu popytu transportowego (1,67 mln podróży, tj. 88% wszystkich podróży związanych z obszarem KBR). Powiat ziemski wiązał 499,5 tys. podróży (26% wszystkich podróży). Sektor publicznych przewozów w zasięgu całego powiatu ziemskiego realizował w dobie 599,4 tys. podróży poprzez 838,8 tys. przejazdów.

Przeciętny samochód osobowy w obszarze badania w roku 2000 realizował 2,91 przejazdów w dobie z średnim napełnieniem 1,36 osoby na przejazd. Łącznie mieszkańcy obszaru realizowali samochodami osobowymi 659,2 tys. przejazdów i 899,2 tys. podróży. Mieszkańcy Poznania wykonywali w dniu roboczym, w okresie badań kompleksowych w roku 2000, samochodami osobowymi 483,2 tys. przejazdów realizując 651,1 tys. podróży. Mobilność pojazdów w powiecie poznańskim wynosiła 2,38 przejazdu na pojazd przy wskaźniku napełnienia 1,41. Przeciętny pojazd generował więc 3,35 podróży w dobie. Pojazdy realizowały 176,0 tys. przejazdów oraz 248,1 tys. podróży dziennie. Obszar i układ drogowy KBR obciążony był w dobie przez:

- 659,2 tys. przejazdów samochodów osobowych mieszkańców,
- 47,4 tys. przejazdów samochodów osobowych przybyszów,
- 59,1 tys. przejazdów taksówek,
- 7,3 tys. przejazdów samochodów osobowych w ruchu tranzytowym,

co stanowiło łącznie 773 tys. przejazdów. Samochody przybyszów i taksówki realizowały około 2,06 mln poj.km co łącznie z 5,333 mln poj.km realizowanych przez mieszkańców stanowiło ok. 7,4 mln poj.km i dawało średnią długość przejazdu w obszarze na poziomie 9,5 km.

Badania ruchu ciężarowego wskazały na ruch generowany przez 105,7 tys. przejazdów samochodów dostawczych i 68,3 tys. ciężarowych, razem 174,0 tys. przejazdów ze średnią długością przejazdu w granicach 12,5 km.

Konstruowanie prognoz oparto na powiązaniu potencjałów produkcji i atrakcji ruchu z danymi o odpowiednich cechach ruchotwórczych funkcji zagospodarowania przestrzennego. W tym celu przygotowano dane dla pięciu kategorii motywacyjnych podróży. Na podstawie regresji zmiennej zależnej (potok generowany lub absorbowany przez rejon) oraz jednej do kilku zmiennych niezależnych zbudowano równania regresji liniowej dla potencjałów atrakcji i produkcji w odpowiednich kategoriach motywacyjnych. Podstawową kwestią w budowaniu modeli prognostycznych był dobór zmiennych niezależnych „prognozowalnych” – zależnych od danych wyjściowych, programu realizowanych inwestycji, danych bilansowych planów miejscowych, prognoz demograficznych, itp.

Zaproponowana struktura motywacji w odniesieniu do źródła i celu podróży służyła do konstruowania potencjałów produkcji i atrakcji dla podmacierzy ruchu przypisanych odpowiednio sklasyfikowanym w tej tabelicy relacjom motywacyjnym ruchu (tab. 4.1):

- potencjału produkcji – ze zmienną niezależną „liczba miejsc nauki” w rejonach (dla rozpoczynania podróży),
- potencjału atrakcji – ze zmienną niezależną „liczba studentów i uczniów szkół średnich” w rejonie (dla kończonych podróży).

Tab. 4.1. Układ potencjałów formowanych do budowy podmacierzy motywacyjnych KBR2000 [5]

Potencjał produkcji	Potencjał atrakcji				
	Dom	Praca	Nauka	Zakupy	Inne cele
Dom	–	dom-praca	dom-nauka	dom-zakupy	dom-inne cele
Praca	praca-dom	nie związane z domem			
Nauka	nauka-dom				
Zakupy	zakupy-dom				
Inne cele	inne cele-dom				

W modelu ruchu przygotowanym na podstawie KBR 2000 podział zadań przewozowych wykonany został w sposób pierwotny, tj. poprzez budowę osobnych macierzy dla transportu indywidualnego (ruch samochodów) i zbiorowego. W KBR 2000 zachowano warunki dla dobrej reprezentacji statystycznej próby, jak również wsparcie w dużej liczbie punktów pomiarowych. Przyjęto, że dwie macierze (suma podmacierzy motywacyjnych), każda dla dualnego podziału modalnego – pasażerów komunikacji zbiorowej i ruchu samochodowego, stanowią porównywalnie wiarygodny stan odniesienia wobec wyników pomiarów ruchu. Zasadniczym problemem modelowania pozostały więc modele rozkładu ruchu w sieci.

W transporcie zbiorowym sformułowano dziewięć macierzy motywacyjnych opartych na rozszerzonych do rozmiarów populacji próbach statystycznych z badań gospodarstw domowych (liczba mieszkań w rejonach) oraz wywiadów na stacjach i dworcach komunikacji zewnętrznej. W ruchu samochodowym skonstruowano dziewięć macierzy motywacyjnych dla samochodów osobowych opartych na rozszerzeniu próby statystycznej w gospodarstwach domowych oraz wywiadach wśród kierowców pojazdów zatrzymanych na kordonie zewnętrznym.

Wszystkie wyżej opisane submacierze ruchu dobowego posiadały jako atrybut rozkład godzinowy ruchu w dobie w wartościach względnych w stosunku do natężenia dobowego. Pozwalało to, przez przemnożenie macierzy odpowiednią wartością udziału, uzyskać macierz godzinową dla wybranej godziny, oraz dodać do siebie poszczególne macierze składowe godzinowe uzyskując macierz dla pełnego ruchu we wszystkich motywacjach. W ten sposób zbudowano dwie macierze: godziny szczytu – porannego (7.00 – 8.00) i popołudniowego (15.00 – 16.00). Dodając macierze dobowe dla motywacji uzyskano macierz dobową globalną. W ruchu samochodowym dołączono do tak zbudowanej macierzy ruchu samochodów osobowych macierze ruchu samochodów dostawczych i ciężarowych.

Po trzy macierze, dla doby i godzin szczytu, ruchu pasażerów w komunikacji publicznej i ruchu samochodów stanowiły podstawowy element modelu ruchu niezbędny dla prowadzenia operacji rozkładu ruchu w programie Visum. Wybór drogi dla każdej relacji międzyrejonowej macierzy ruchu samochodowego opierał się w programie Visum na dwóch submodelach:

- wyboru trasy o najmniejszym oporze (koszcie), uwzględniającym relację pomiędzy wartością czasu i kosztem dystansu (długości drogi),
- modelu ograniczonej przepustowości – uwzględniającym wpływ zatłoczenia na wzrost czasu przejazdu.

Model wyboru trasy formowany był wg wzoru:

$$\text{koszt podróży} = \text{PPS} \cdot t + \text{PPM} \cdot d$$

gdzie:

- PPS – wartość jednostki czasu (sekundy),
- PPM – koszt przejazdu jednostkowego odcinka drogi (metra),
- t – czas przejazdu trasy (s),
- d – długość trasy (m).

Budowa modelu sprowadzała się do optymalizacji relacji PPS do PPM pozwalającej uzyskać najlepszy rozkład ruchu w sieci poprzez kolejne podstawianie wartości PPS/PPM. Najlepszy rozkład polegał na największym zbliżeniu uzyskanych w procedurze rozkładu wielkości potoków modelowanych z pomierzonymi w poszczególnych przekrojach kordonowych i ekranowych.

### **4.3. Weryfikacja modelu ruchu przy opracowaniu Zrównoważonego Planu Rozwoju Transportu Publicznego**

#### Badania ruchu

Jedną z zasadniczych zmian wprowadzonych podczas weryfikacji modelu ruchu była zmiana numeracji rejonów komunikacyjnych. Ponadto szczegółowo przeanalizowany został model ruchu przygotowany w ramach KBR 2000, do którego zgłoszono szereg uwag.

Badanie ruchu zostało przeprowadzone w sposób prawidłowy i dostarczyło materiału badawczego do oceny zachowań komunikacyjnych mieszkańców Poznania i aglomeracji poznańskiej oraz do sporządzenia modelu ruchu. Zwrócono jednak uwagę, że nie wszystkie elementy zostały w opracowaniu ujawnione, co utrudniło ocenę modelu i jego wykorzystanie przez osoby niebędące autorami badania [66, 74].

### Podział na rejony komunikacyjne

Miasto Poznań podzielone zostało na 217 rejonów, a powiat ziemski na 174 rejony. Obszar zewnętrzny powiatu poznańskiego został podzielony na trzy grupy – pozostałe powiaty na obszarze województwa wielkopolskiego (poza powiatami miejskim i ziemskim poznańskim), pozostałe województwa w Polsce oraz rejony leżące na granicy państwa (tab. 4.2). Dodatkowo w modelu opracowanym w ramach KBR2000 niewystarczająco jasno przedstawione zostały opisy pozwalające na identyfikację rejonów zewnętrznych w odniesieniu do rejonów opisanych w ten sam sposób [74].

Tab. 4.2. Identyfikacja rejonów na granicy państwa (źródło KBR 2000) [5]

Rejon	Jednostka zewnętrzna
1	granica niemiecka
2	granica niemiecka
3	granica niemiecka
4	granica czeska
5	granica czeska
6	granica czeska
7	granica słowacka
8	granica słowacka
9	granica słowacka
10	granica ukraińska
11	granica ukraińska
12	granica białoruska
13	granica białoruska
14	granica litewska
15	granica rosyjska
16	Morze Bałtyckie
17	Morze Bałtyckie

Trudności sprawiało m.in. określenie różnic pomiędzy rejonami 1, 2 i 3 czy też rejonami 16 i 17 (tab. 4.2.). Sądząc po wielkościach generowanego ruchu można dedukować, że jako rejon nr 2 określono przejście graniczne w Świecku/Ślubicach. Brak było informacji o miejscu podłączenia i identyfikacji rejonów zewnętrznych. Informacja taka możliwa była do określenia dopiero po wczytaniu zakodowanej sieci. Brak jest jakiegokolwiek informacji, w jaki sposób tak przyjęty podział wykorzystany został w modelu ruchu. W opisie podziału na rejony stwierdzono także, że na obszarze Poznania wydzielono 18 rejonów węzłowych obejmujące stacje i dworce kolei, dworzec autobusowy PKS i lotnisko Ławica. Wykazano pomiary potoków pieszych tylko na 15 dworcach i stacjach. To samo dotyczy obszaru powiatu ziemskiego – 43 rejonów i 38 wykazanych. Opracowanie przygotowane w ramach KBR 2000 nie opisuje również w jaki sposób rejony węzłów dworcowych zostały uwzględnione w modelu ruchu, a w szczególności w modelach generacji ruchu oraz jak wielkości te są zmienne w czasie.

### Model generacji ruchu

Całkowita macierz ruchu KBR 2000 dla obszaru analizy wynosiła 1908 tys. podróży. Przeprowadzono dwa proste wyliczenia kontrolne przedstawione poniżej:

- dla poszczególnych makro-rejonów Poznania oraz gmin powiatu ziemskiego, z uwzględnieniem podziału na część miejską i wiejską wyliczono całkowitą liczbę podróży mnożąc liczbę mieszkańców przez ruchliwość – z przeliczenia wynika, że mieszkańcy obszaru analizy wykonują 1 568 000 podróży. Wynik ten jest zgodny z obliczeniami z KBR 2000. Dla uproszczenia przyjęto, że wszystkie te podróże są wykonywane w obszarze analizy. Do tego dodano wielkość liczby podróży wykonywanych przez przybyszy spoza obszaru analizy (podróże mieszkańców obszaru pominięto, bo są one uwzględniane w ruchliwości mieszkańców). Dodano zatem 160 900 podróży przybyszów. Uzyskano całkowitą liczbę podróży 1729 tys. (tab. 4.3).

Tab. 4.3. Wyliczenie całkowitej liczby podróży

	Liczba Mieszkańców	Ruchliwość ogółem	Liczba podróży
Mieszkańcy Poznania	593 801	2,03*	1 205 520
Mieszkańcy powiatu ziemskiego	255 490	1,42	362 470
Przybysze			160 900
<b>SUMA</b>			<b>1 728 890</b>

\*Przyjęto, że ruchliwość ogółem obejmuje wszystkie podróże mieszkańca Poznania w ciągu doby.

- przyjęto do wyliczenia liczby podróży ruchliwości na poziomie 2,44. Całkowita liczba podróży wynosi 2046 tys. (tab. 4.4).

Tab. 4.4. Wyliczenie całkowitej liczby podróży – wariant 2

	Liczba Mieszkańców	Ruchliwość ogółem	Liczba podróży
Mieszkańcy Poznania i powiatu ziemskiego	848921	2,44*	1 885 426
Przybysze			160 900
<b>SUMA</b>			<b>2 046 326</b>

\* Przyjęto, że ruchliwość ogółem obejmuje wszystkie podróże mieszkańca Poznania w ciągu doby.

Obie uzyskane wielkości są różne od podanej w KBR całkowitej liczby podróży w obszarze analizy wynoszącej 1908 tys. podróży. O ile pierwszą wersję wyliczeń można wytłumaczyć tym, że podana ruchliwość uwzględnia tylko podróże osób starszych niż 10 lat, o tyle różnica w drugim wyliczeniu wymaga wyjaśnień autorów badania – różnica wynosi ponad 100 000.

W opracowaniu przedstawiono modele generacji ruchu w rozbiciu na motywacje. Przedstawiono także model łańcuchów podróży. Brak jest jednak informacji o tym, czy model generacji dotyczy zarówno rejonów Poznania jak i powiatu ziemskiego, brak jest jakichkolwiek informacji o próbie zróżnicowania obszarów miejskich i wiejskich powiatu ziemskiego. W odniesieniu do szczegółowych modeli generacji ruchu dla poszczególnych motywacji należy zwrócić uwagę, że model proponowany dla motywacji dom-praca powoduje, że dla niektórych rejonów uzyskuje się wartości generacji (produkcji) ruchu mniejsze od 0 (przy przeliczeniu kontrolnym dla danych o zagospodarowaniu generacja ruchu wynosi mniej niż 0 dla 26 rejonów). Podobna sytuacja występuje dla modeli generacji (produkcji) ruchu w motywacjach dom-inne, praca-dom, oraz absorpcji (atrakcji) ruchu w motywacji praca-dom, nauka-dom, zakupy-dom oraz inne-dom.



## Generacja ruchu w rejonach dworcowych

Z logicznego punktu widzenia dworce stanowią punkt, w którym osoby dojeżdżające do miasta spoza jego obszaru przesiadają się, aby dotrzeć do różnych rejonów w mieście. Zatem liczba osób dojeżdżających do rejonu dworcowego z rejonów zewnętrznych (atrakcja dla rejonów zewnętrznych) powinna być równa lub mniejsza produkcji dla rejonów wewnętrznych w mieście (za wyjątkiem Dworca Głównego, na którym występują przesiadki tranzytowe). Zjawisko to nie występowało w modelu KBR 2000.

## Model rozkładu przestrzennego ruchu

W KBR 2000 zachowano warunki dla dobrej reprezentacji statystycznej próby, jak również wsparcie w dużej liczbie punktów pomiarowych. Rozszerzenie próby na bazie liczby mieszkań w rejonach komunikacyjnych pozwalało ocenić, że praktycznie wiarygodność w zakresie liczby mieszkań w rejonach uzależnia błąd względny cech ruchu tylko od poziomu reprezentacji statystycznej. Z opisu i rezultatów obliczeń wynikało, że wyliczono generację ruchu w poszczególnych rejonach i tak uzyskane wektory produkcji i absorpcji (atrakcji) ruchu wykorzystano do wyrównania macierzy z badań – jest to podejście błędne. Badanie ankietowe, obejmujące próbę 3,1% populacji nie pozwala na wychwycenie wszystkich relacji. Należy podkreślić, że zastosowany podział na rejonny – 391 x 391 dał w efekcie 152 881 relacji. Jednakże w dobowej macierzy ruchu samochodów zaprezentowanej jako efekt opracowania 143 442 pól (93,8%) zawierało wartość 0. Dla dobowej macierzy komunikacji zbiorowej 144 064 pól macierzy (94,2%) zawierało wartość 0. W trakcie badania wychwycono jedynie ograniczoną liczbę relacji. Pozostałe pola zawierały wartość 0. Niezależnie od wielkości produkcji i atrakcji ruchu wielkości zmieniały się tylko w tych nielicznych polach macierzy wychwyconych w badaniu [66].

Rozszerzając więźbę z badań sztucznie zawyżono liczbę podróży na tych relacjach, które losowo wystąpiły w badaniu, pomijając wszystkie inne, które w badaniu nie wystąpiły, a występują w rzeczywistości. Model ruchu powinien jednak wyrażać prawdopodobieństwo odbycia podróży z rejonu  $i$  do  $j$  w średni dzień roboczy, w zależności od wielkości generacji ruchu w rejonie źródłowym, absorpcji ruchu w rejonie docelowym i wzajemnego położenia tych dwóch rejonów na obszarze miasta. Najczęściej stosowanym modelem tzw. rozkładu przestrzennego ruchu, który jest jednym z trzech kroków prowadzących do budowy macierzy ruchu jest tzw. model grawitacyjny [6] o postaci:

$$T_{ij} = \frac{P_i \times A_j \times f_{ij} \times K_{ij}}{\sum_j A_j}$$

gdzie:

$T_{ij}$  – liczba podróży z rejonu  $i$  do  $j$ ,

$P_i$  – generacja (produkcja) ruchu w rejonie źródłowym  $i$ ,

$A_j$  – absorpcja (atrakcja) ruchu w rejonie docelowym  $j$ ,

$f_{ij}$  – wartość funkcji oporu przestrzeni dla relacji z  $i$  do  $j$ ,

$K_{ij}$  – współczynnik korekcyjny dla relacji z  $i$  do  $j$ .

W wyniku badań należało określić tzw. krzywe oporu przestrzeni, najczęściej stosowane w postaci:

$$f_{ij} = a \times l_{ij}^b \times e^{-g \times l_{ij}}$$

gdzie:

$f_{ij}$  – wartość funkcji oporu przestrzeni z rejonu  $i$  do  $j$ ,

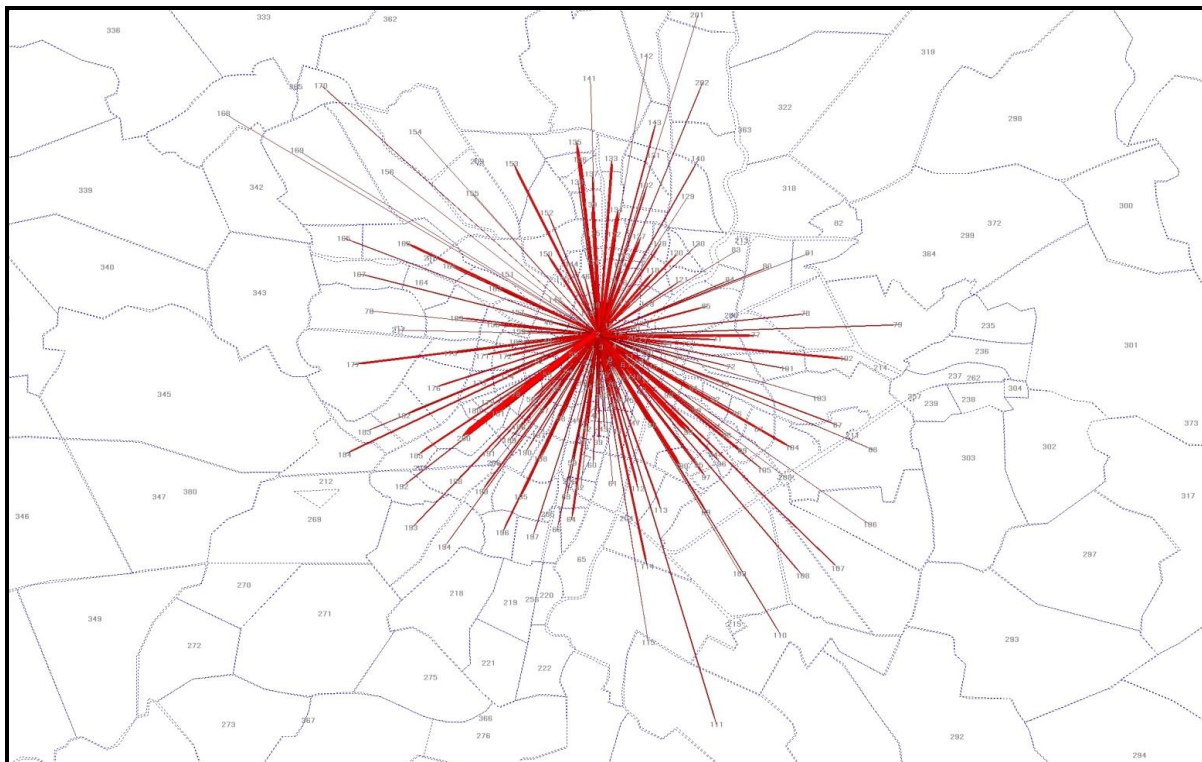
$l_{ij}$  – miara oporu przestrzeni (odległość, czas podróży),

$a, b, g$  – parametry modelu.

Model ten jest powszechnie opisany w literaturze i stosowany, zarówno na świecie jak i w Polsce [31]. Żeby zobrazować różnicę w wielkościach macierzy ruchu uzyskiwanych w wyniku zastosowania modelu grawitacyjnego na etapie opracowania Zrównoważonego Planu Rozwoju Transportu Publicznego przeprowadzono próbę opracowania takiego modelu dla podróży samochodów osobowych wewnątrz Poznania. Z analizy dostępnych danych wejściowych, z wykorzystaniem pakietu STATISTICA, uzyskano następujące parametry krzywej oporu:

$$a = 2,6349; b = 0,1920; g = 0,1048$$

Zastosowanie tak oszacowanej krzywej oporu w modelu grawitacyjnym pozwoliło na uzyskanie macierzy podróży samochodów po Poznaniu. Dla podróży z rejonu 2 (1202 wg KBR 2000) – Park Moniuszki do innych rejonów w Poznaniu obraz macierzy przedstawiono na rysunku 4.4. Jak widać podróże z tego rejonu są odbywane do wielu rejonów na terenie całego miasta. Ich liczba zależy od potencjału absorpcji (atrakcji) rejonu docelowego i odległości.



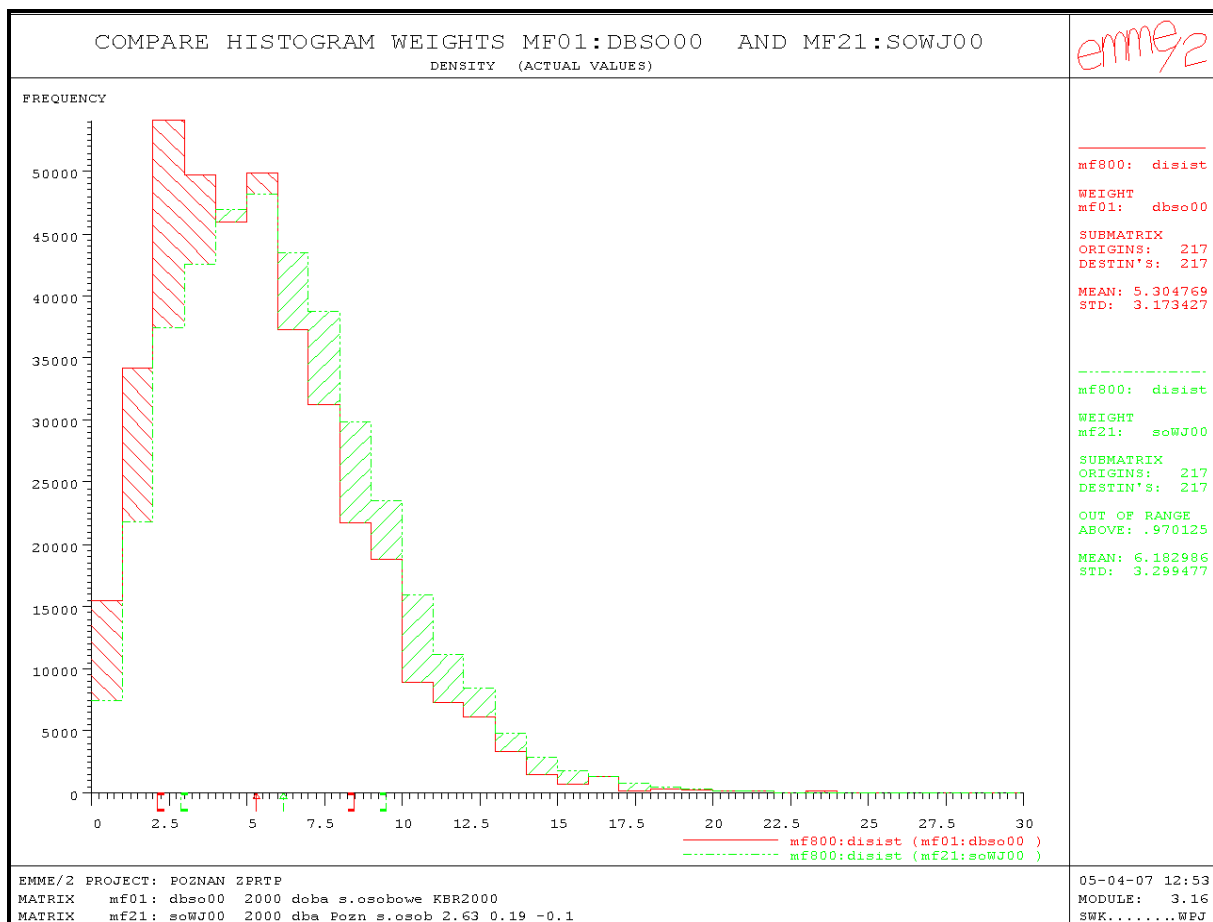
Rys. 4.4. Dobowa macierz podróży samochodów osobowych – podróże z rejonu 2 (1202 według KBR2000) [58]

Ponieważ proces modelowania wymagał kontroli na każdym kroku obliczeń, sprawdzono, jak przedstawiał się rozkład wartości w polach macierzy dla podróży wewnętrznych samochodów w Poznaniu w ciągu doby. Wyznaczona macierz miała znacznie

mniej pól z wartością 0 – 7118 (15,1%) niż ta opracowana w ramach KBR2000. Dla podróży wewnątrz Poznania według macierzy KBR 2000 jest 41036 relacji z wartością 0 (87,2%).

Zbadano także rozkład odległości podróży ważony liczbą podróży dla dobowej macierzy podróży samochodów wewnątrz Poznania według KBR 2000 i w ramach ZPRTP. Średnia odległość podróży według KBR 2000 wynosiła 5,30 km, według modelu ZPRTP 6,18 km. Sprawdzone także korelacje rozkładu odległości podróży ważonej ich liczbą dla obu macierzy (rys. 4.5). Współczynnik korelacji obu rozkładów wynosi 0,957, co oznacza, że są one do siebie bardzo zbliżone.

W pełnym modelu ruchu powinny zostać opracowane modele rozkładu przestrzennego ruchu dla poszczególnych motywacji podróży. Doświadczenia z innych miast w Polsce (np. KBR w Warszawie) wykazują, że modele rozkładu przestrzennego ruchu dla poszczególnych motywacji mogą się od siebie istotnie różnić. Także rozkład przestrzenny ruchu mieszkańców Poznania i mieszkańców powiatu ziemskiego może się od siebie różnić.



Rys. 4.5. Porównanie rozkładu odległości podróży ważonego liczbą podróży dla dobowej macierzy podróży samochodów wewnątrz Poznania według KBR2000 i ZPRTP [5, 58]

### Model podziału zadań przewozowych

W modelu w ramach KBR 2000 zastosowano pierwotny podział zadań przewozowych. Pierwotny podział oznacza, że na etapie generacji ruchu od razu uwzględnia się podział na ruch komunikacją publiczną i samochodem. Zatem podział zadań zależy od zmiennych opisujących rejon i jest stały dla wszystkich podróży opuszczających rejon, niezależnie od warunków podróży do rejonów docelowych. W modelu według KBR 2000 brak jest jakiegokolwiek formuły matematycznej określającej jak wygląda rozdział podróży generowanych w rejonie pomiędzy komunikacją publiczną i indywidualną oraz od czego to zależy.

Do analiz porównawczych różnych propozycji inwestowania w rozwój systemu transportowego miasta konieczne jest pokazanie zależności pomiędzy takimi elementami jak płatne parkowanie, dostępność parkingów, jakość powiązań komunikacją zbiorową i transportem publicznym a decyzją użytkownika o wyborze środka podróży. Brak takich formuł utrudnia analizy wpływu zmian w systemie transportowym miasta na podział zadań przewozowych.

#### Model rozkładu ruchu na sieć

W modelu KBR 2000 w opisie odcinków przyjęto przepustowości dobowe. Obliczenia dla godzin szczytu wykonywano przy założeniu, że przepustowość godzinowa stanowi 10% przepustowości dobowej. Brak jest jakiegokolwiek informacji o źródłach przyjętych wartości. Nie podano też informacji o parametrach funkcji zastosowanych do obliczania oporu odcinka i informacji o ich zróżnicowaniu. Z opisu modelu można wnioskować, że do rozkładu ruchu na sieć w KBR2000 zastosowano metodę przyrostową lub też metodę rozkładu zrównoważonego.

#### Wnioski z weryfikacji modelu ruchu

Model ruchu opracowany w ramach KBR 2000 spośród trzech kroków budowy macierzy ruchu:

- generacja ruchu,
- rozkład przestrzenny ruchu,
- podział zadań przewozowych,

zawierał matematyczny opis tylko kroku I. Przy weryfikacji modelu zauważono, że pozostałe dwa kroki albo nie zostały opisane, bądź nie zostały wykonane.

### **4.4. Aktualizacja modelu symulacyjnego aglomeracji poznańskiej wraz z prognozami**

Kolejna weryfikacja modelu ruchu Aglomeracji Poznańskiej miała miejsce w listopadzie 2009 r. Nie było to jednak powiązane z przeprowadzeniem badań ruchu pozwalających na pozyskanie aktualnych danych wymaganych do pełnej aktualizacji modelu.

Właściwe zamodelowanie czterech etapów podróży, obejmujących: generację podróży, rozkład przestrzenny podróży, podział zadań przewozowych oraz rozkład ruchu w sieci transportowej, wymaga dostępności do bazy danych obejmującej swym zakresem szczegółowe informacje związane z cechami społecznymi i ekonomicznymi społeczności, rodzajem i charakterem podróży mieszkańców, wybranymi środkami transportu, rozkładem przestrzennym podróży. Zastosowanie jedynych dostępnych w tym czasie wyników pełnych badania ruchliwości przeprowadzonych w Poznaniu w ramach Kompleksowych Badań Ruchu w roku 2000 było mocno ograniczone. Wynikało to z upływu czasu, podczas którego dokonały się zauważalne i znaczące zmiany m.in. w ruchliwości mieszkańców oraz zagospodarowaniu przestrzennym [71].

Wobec ograniczonej bazy danych wejściowych w procesie aktualizacji modelu ruchu zdecydowano się na rozwiązanie pośrednie, łączące elementy klasycznego podejścia z wykorzystaniem dostępnych danych historycznych z dopasowywaniem wyników rozkładu ruchu w sieci do dostępnych, aktualnych wyników pomiarów przekrojowych, zarówno w transporcie indywidualnym, jak i zbiorowym. Model ten został opracowany przy pomocy programu symulacyjnego Visum z wykorzystaniem odpowiednich modułów do kalibracji więzby ruchu. Podejście takie w istocie upraszczało i uogólniało proces modelowania, lecz

stanowiło przy tym jedyne rozwiązanie pozwalające na opracowanie modelu symulacyjnego miasta w warunkach ograniczonego dostępu do aktualnych danych.

### Założenia metodologii analizy ruchowej

Zasadniczym elementem prowadzonej analizy była aktualizacja prognoz demograficznych stanowiących podstawę do wyznaczenia potencjałów ruchotwórczych oraz skalibrowanie modelu na bazie pomiarów ruchu na sieci według stanu na listopad 2009 r. Aktualizacja oparta została na dostępnych materiałach studialnych [71]:

- Zrównoważony Plan Rozwoju Transportu Publicznego w Aglomeracji Poznańskiej na lata 2007 – 2015. Poznański Obszar Metropolitarny, Poznań, wrzesień 2006,
- KBR Poznań 2000, część: Diagnoza i wnioski, Biuro Inżynierii Transportu BIT, Poznań 2000,
- Scott Wilson Kirkpatrick Ltd: Aktualizacja zintegrowanego planu rozwoju transportu publicznego w aglomeracji poznańskiej na lata 2004 – 2013, etap II analizy, Warszawa, maj 2006,

a także dostępnych danych statystycznych (Baza Danych Regionalnych GUS) oraz prognoz (GUS 2003, GUS weryfikacja 2008 – tylko dla województwa, ekspertyza Akademii Ekonomicznej w Poznaniu (AE) dla Urzędu Miasta Poznania 2005, ekspertyza SWC 2005, BIT 2009).

Istotnym okazało się dostosowanie zmiennych objaśniających do stanu na rok 2008 – źródła opierały się na materiałach statystycznych i studiach z lat 2000 (KBR) – 2003 (prognoza GUS, w ramach Narodowego Spisu Powszechnego). Niżej opisano sposób w jaki sprowadzono te dane do poziomu 2008 roku:

- 1) Ponieważ dane wejściowe oparte były na badaniach terenowych z roku 2000 niezbędne było skalibrowanie modelu w stosunku do wyników aktualnych pomiarów ruchu na sieci i porównanie z wynikami modelu.
- 2) Drugim założeniem było dostosowanie metodologii do możliwości prognozowania ruchliwości na oczekiwane okresy przyszłości (2025 i 2035). Dotychczasowe podejścia modelowania, oparte były bezpośrednio na danych, uzyskanych dla potrzeb KBR 2000 i skalibrowanych w stosunku do posiadanych zmiennych objaśniających rozmieszczonych w rejonach komunikacyjnych.
- 3) Wartości w zakresie analizy ruchliwości założone w dotychczasowych opracowaniach przyjmowały wartości jak dla KBR z roku 2000. Nie można było przyjąć, że dalszy wzrost ruchliwości wynikać będzie wyłącznie ze zmian w zmiennych objaśniających. Kluczową rolę pełnił fakt zmian ruchliwości wraz ze wzrostem poziomu ekonomicznego. W niniejszym podejściu uwzględniono znaczny wzrost ruchliwości związany ze zmianami w sposobie spędzania wolnego czasu oraz poszerzeniem ekonomicznej bazy tego zjawiska.

Nie bez znaczenia była również ówczesna globalna sytuacja gospodarcza. Okoliczności kryzysu ekonomicznego zmuszały do dużej ostrożności w zakresie prognozowania, ponieważ jednak prognozy miały charakter długoterminowy (25 lat) uprawnione było założenie, iż wzrost gospodarczy przyczyni się do zmian w poziomie ruchliwości do 2,8 – 2,9 podróży / osobę / dzień. Aby uwzględnić te zmiany, zwiększono ruchliwość z roku 2000 (wg KBR2000) z 2,06 do 2,40 podróży. Założono, że wzrost ruchliwości będzie następował w grupach podróży poza pracą i nauką, gdyż to te grupy generują wspomnianą ruchliwość związaną ze zmianami cywilizacyjnymi.

## Metodologia prognozy demograficznej

Z analizy danych i prognoz sporządzonych przez Główny Urząd Statystyczny wynikało, że brak jest podstaw do kwestionowania prognozy z roku 2003. W Poznaniu zaobserwowano nieco szybszą utratę mieszkańców, niż wskazała to prognoza GUS z roku 2003. Natomiast strefa (powiat poznański) miała znacznie szybszy przyrosty liczby mieszkańców (dane o faktycznym miejscu zamieszkania), niż wskazała to prognoza. Wobec danych o dynamicznym wzroście liczby mieszkańców strefy i całkowitym rozminięciem się wszystkich prognoz w tym zakresie z danymi za lata do 2008 należy stwierdzić, że zmiana tej tendencji jest mało prawdopodobna. Z powyższych przesłanek wyprowadzono następujące założenia do prognozy na lata 2009 – 2025 (z ekstrapolacją do 2035):

- a) założono wyhamowywanie tempa wzrostu liczby mieszkańców dla strefy, od 2008 roku (9,9%) do 2025 (1% rocznie). Dało to liczbę mieszkańców 350 439 (tab. 4.5),
- b) założono tempo spadku liczby mieszkańców dla Poznania, w zasadzie według trendu opisanego w prognozie GUS 2003 i podtrzymanego w prognozie AE; dało to liczbę mieszkańców 510 000, zbieżną z prognozą GUS i AE z zastrzeżeniem dostosowania do faktycznej liczby mieszkańców z roku 2003.

Tab. 4.5. Bilans ruchliwości na podstawie założonej prognozy demograficznej

Lp.	Rodzaj danych	jedn.	Strefa			Poznań		
			2008	2025	2035	2008	2025	2035
<b>Dane demograficzne</b>								
1	liczba mieszkańców	osób	317 891	350 439	353 944	558 499	510 000	512 550
2	liczebność grupy wiekowej szkół ponadpodstawowych, 15-20 lat	osób	21 406	20 085	20 026	29 767	29 230	29 000
3	liczebność mieszkańców w wieku 21-24 lat	osób	24 728	24 531	19 113	43 501	30 000	26 000
4	liczba uczniów i studentów	osób	26 995	26 995	26 995	95 064	95 064	95 064
5	liczba studentów miejscowych	osób	4 946	7 359	9 556	28 402	27 641	25 000
6	liczba studentów w akademikach i na stancjach	osób	0	0	0	50 000	45 000	55 000
7	liczba bezrobotnych	osób	2 330	2 000	2 000	5 612	5 500	5 000
8	liczebność osób pracujących	osób	190 735	192 742	184 051	301 031	270 300	256 275
9	wskaźnik zawodowo-czynnych	[1]	0,60	0,55	0,52	0,54	0,53	0,50
<b>Dane społeczno – gospodarcze</b>								
10	liczba miejsc w szkołach ponadpodstawowych	osób	12 243	12 770	13 000	32 484	36 545	36 026
11	liczba miejsc w uczelniach wyższych (stacjonarne + 30% pozostałych)	osób	0	0	0	83 348	80 000	80 000
12	liczba miejsc pracy ogółem	osób	111 207	130 000	160 000	345 339	340 000	320 000
13	liczba miejsc pracy w III sektorze	osób	51 790	65 000	7 800	240 943	248 200	240 000
<b>Bilanse ruchliwości</b>								
			Strefa			Poznań		
			2008	2025	2035	2008	2025	2035
14	pracujący na miejscu	osób	114 441	134 919	147 241	270 928	243 270	230 648
15	wyjazdy do pracy	podróży	76 294	57 822	36 810	30 103	27 030	25 628
16	uczniowie na miejscu	osób	12 243	12 770	13 000	27 602	29 230	29 000
17	wyjazdy do szkół	podróży	4 882	7 315	7 026	0	0	0
18	studenci miejscowi	osób	0	0	0	28 402	27 641	25 000
19	wyjazdy do uczelni	podróży	4 946	7 359	9 556	0	0	0

Z analizy zebranego materiału wynikało, że założenia prognoz, opracowane dość dawno (2005, 2008) nie sprawdziły się w realnych statystykach. Należy w szczególności zauważyć, że nastąpiło przesunięcie 80 tys. mieszkańców z miasta do strefy podmiejskiej, co musiało mieć wpływ na rozkłady ruchu i podział zadań przewozowych. Generalnie zwiększyło to pracę przewozową w obszarze miasta oraz Strefy (Obszaru Metropolitalnego) i wymuszało na mieście wprowadzanie systemów wspomagających system transportowy.

Tab. 4.6. Założenia do przyjętych bilansów ruchliwości

	2008		2025		2035	
	Strefa	Poznań	Strefa	Poznań	Strefa	Poznań
udział zatrudnienia miejsc.	60%	90%	70%	90%	80%	90%
udział uczniów na miejscu	60%	100%	70%	100%	80%	100%
wskaźnik absencji w pracy	78,3%	78,8%	80%	80%	82%	82%
wskaźnik absencji szkół	70%	75%	72%	87%	75%	80%
udział III sektora w pracy	47%	69,8%	50%	73%	60%	75%
wsk. schol. uczniowie	80%	92,7%	100%	100%	100%	100%
wsk. schol. studenci	20%	65%	30%	92%	50%	96%

### Opis modelu ruchu

Struktura modelu ruchu musiała uwzględnić trzy poziomy: miasto Poznań, strefę podmiejską (Obszar Metropolitalny) oraz powiązanie modelu z układem zewnętrznym. Całość więzby ruchu uwzględniająca założone poziomy oraz współzależności między nimi przedstawiona została w postaci schematu – tabela 4.7.

Tab. 4.7. Struktura więzby ruchu dla przyjętego modelu symulacyjnego miasta

	<b>Obszar zewnętrzny</b>	<b>Strefa</b>	<b>Miasto</b>
<b>Obszar zewnętrzny</b>	Relacje tranzytowe	Relacje: Wlot - Strefa	Relacje: Wlot -Poznań
<b>Strefa</b>	Relacje: Strefa – Wylot	Relacje: Strefa - Strefa	Relacje: Strefa - Poznań
<b>Miasto</b>	Relacje: Poznań - Wlot	Relacje: Poznań - Strefa	Relacje wewnętrzne

### Potencjały ruchotwórcze

Potencjały ruchotwórcze zostały oszacowane na podstawie dostępnej bazy danych zmiennych objaśniających opracowanych w ramach KBR 2000. Ponieważ nie przystawała ona do stanu, w którym aktualizowany był model, podjęto próbę jej aktualizacji, szacując w sposób ekspercki wartości zmiennych objaśniających. W wyniku zastosowanej korekty, otrzymano zbiór wyjściowy danych do modelowania potencjałów ruchotwórczych. W procesie budowy modelu symulacyjnego podjęto próbę wykorzystania formuł na potencjały ruchotwórcze estymowane w ramach KBR 2000. Zastosowanie wprost takiego podejścia spowodowało zaniżoną wartość wskaźnika ruchliwości zgodną z nieaktualnymi danymi z roku 2000 (ponadto uzyskana więzba ruchu wykazała znaczne różnice w potokach ruchu na kordonie badawczym). Różnice te, w odniesieniu do poszczególnych środków transportu wynosiły:



- dla komunikacji zbiorowej: sumaryczny potok pasażerów na odcinkach pomiarowych był o 48% mniejszy w stosunku do modelu ( $R^2=0,51$ ),
- dla komunikacji indywidualnej: sumaryczny potok pojazdów na odcinkach pomiarowych był o 27% mniejszy w stosunku do modelu ( $R^2=0,59$ ).

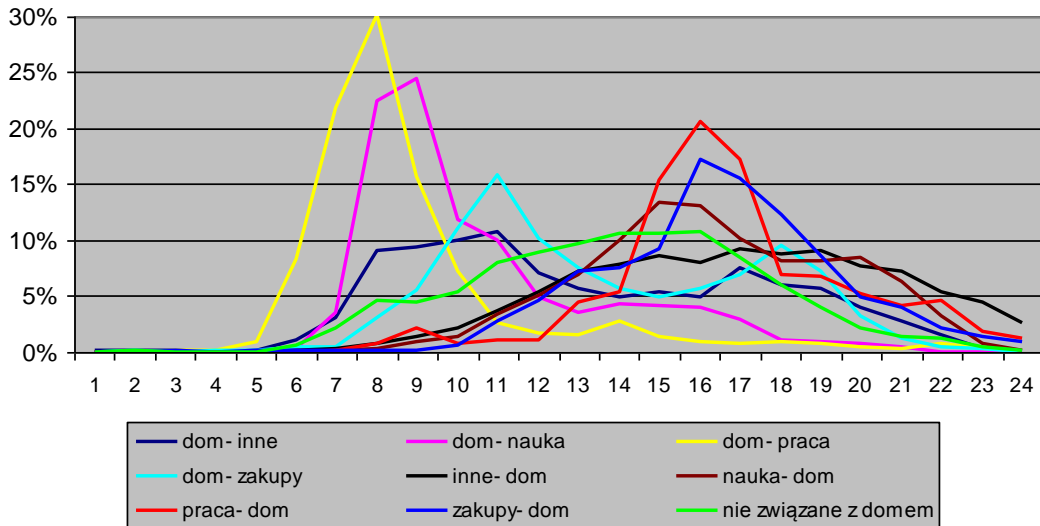
Zaproponowano więc inne podejście, dające m.in. możliwość ingerencji w poziom wskaźnika ruchliwości. Podejście to polegało na powiązaniu wybranych grup użytkowników (zawodowo czynni, studenci, uczniowie, itp.) z globalną liczbą podróży szacowaną przy uwzględnieniu wskaźników absencji w grupach podróży związanych z pracą i nauką oraz dopełniającą ruchliwością w pozostałych. Pozwoliło to wyznaczyć dobowe liczebności podróży w poszczególnych motywacjach z uwzględnieniem kierunku realizowanej podróży: wewnątrz Poznania, Poznań – Strefa i Strefa – Poznań. Podróże wewnątrz Strefy pominięto, uznając je za nieistotne z punktu widzenia prowadzonych analiz systemu komunikacyjnego Poznania. Sumaryczne dobowe wartości podróży w poszczególnych motywacjach zostały następnie rozdzielone na rejony komunikacyjne na zasadzie proporcjonalności do wybranych zmiennych objaśniających (tab. 4.8).

Tab. 4.8 Wybrane zmienne objaśniające udział poszczególnych motywacji w podróżach

Dom – Praca	Produkcja	Zawodowo czynni
	Atrakcja	Miejsca pracy
Praca – Dom	Produkcja	Miejsca pracy
	Atrakcja	Zawodowo czynni
Dom – Nauka	Produkcja	Uczniowie + studenci
	Atrakcja	Miejsca w szkołach i uczelniach
Nauka – Dom	Produkcja	Miejsca w szkołach i uczelniach
	Atrakcja	Uczniowie + studenci
Dom – Inne	Produkcja	Liczba mieszkańców
	Atrakcja	Usługi / handel
Inne – Dom	Produkcja	Usługi / handel
	Atrakcja	Liczba mieszkańców
Niezwiązane z domem	Produkcja	Usługi / handel
	Atrakcja	Usługi / handel

Wyznaczone podróże odnosiły się do wartości dobowych. W celu przejścia na godzinę szczytu porannego, wykorzystano dobowy rozkład podróży na podstawie badań KBR 2000. Na rysunku 4.6 przedstawiono udział poszczególnych motywacji w dobie.





Rys. 4.6. Udział procentowy poszczególnych motywacji w poszczególnych godzinach doby [71]

### Więźba ruchu

Uwzględniając udział porannej godziny szczytu (7.00 – 8.00) wyznaczono potencjały ruchotwórcze dla wszystkich podróży realizowanych w aglomeracji poznańskiej w roku bazowym. Wyznaczone potencjały ruchotwórcze stanowiły podstawę do określenia więźby ruchu. Wykorzystano tutaj model grawitacyjny kalibrowany na podstawie badań KBR 2000, gdzie wyznaczono parametry modelu oddzielnie dla relacji:

- realizowanych wewnątrz Poznania,

$$f_{ij} = 6,25264 \cdot l_{ij}^{0,875188} \cdot e^{-0,4188l_{ij}}$$

gdzie:

$f_{ij}$  - funkcja oporu dla relacji i-j,

$l_{ij}$  - odległość między rejonami ij,

- realizowanych pomiędzy Strefą i Poznaniem,

$$f_{ij} = 0,686592 \cdot (l_{ij} - 2,25)^{-0,53098} \cdot e^{-0,08412(l_{ij} - 2,25)}$$

gdzie:

$f_{ij}$  - funkcja oporu dla relacji i-j,

$l_{ij}$  - odległość między rejonami ij (odległość  $l_{ij} > 2,25$ ),

- realizowanych pomiędzy Poznaniem i Strefą.

$$f_{ij} = 1,2105 \cdot (l_{ij} - 2,25)^{1,70503} \cdot e^{-0,83537(l_{ij} - 2,25)}$$

gdzie:

$f_{ij}$  - funkcja oporu dla relacji i-j,

$l_{ij}$  - odległość między rejonami ij (odległość  $l_{ij} > 2,25$ ).

W każdym przypadku czynnikiem wpływu była odległość między rejonami komunikacyjnymi w sieci. Odległości te zostały wyznaczone przy pomocy programu Visum, w postaci odpowiedniej macierzy stanowiącej podstawę do zastosowania funkcji *Calculate Gravity Model*. Wynikiem zastosowanej procedury było uzyskanie globalnej więźby ruchu odnoszącej się do okresu szczytu porannego i uwzględniającej wszystkie podróże (zarówno zmotoryzowane jak i niezmotoryzowane). W celu odrzucenia podróży niezmotoryzowanych przyjęto, że udział tych podróży będzie funkcją odległości między rejonami:

$$U_{nz} = \begin{cases} 1,0; l \leq 0,4 \\ 0,278 \cdot l - 0,112; 0,4 < l < 4,0 \\ 0; l \geq 4,0 \end{cases}$$

gdzie:  $l$  – odległość między rejonami komunikacyjnymi.

Po wydzieleniu podróży niezmotoryzowanych uzyskano całkowitą więźbę ruchu obejmującą podróże zmotoryzowane, w godzinie szczytu porannego.

#### Podział zadań przewozowych

W celu określenia udziału poszczególnych środków transportu w podróżach, przyjęto zasadę podziału wtórnego, bazującego na wynikach rozkładu roboczych więźb ruchu i uzyskanego na tej podstawie czasu podróży. Przyjęto model logitowy opisany równaniem:

$$U_{kz} = \frac{1}{1 + 3,2e^{-0,79x}}$$

$$U_{ki} = 1 - U_{kz}$$

gdzie:

$U_{kz}$  – udział komunikacji zbiorowej w podróżach,

$x$  – iloraz czasu podróży samochodem osobowym i komunikacją zbiorową,

$U_{ki}$  – udział komunikacji indywidualnej w podróżach.

Ponieważ jako czynnik wpływu został przyjęty czas podróży, koniecznym było wyznaczenie macierzy czasów dla poszczególnych środków transportu. W przypadku komunikacji zbiorowej, wyznaczono macierz bazując na modelu sieciowym miasta i rozkładzie *Headway Based Assignment* (częstotliwość była szacowana na podstawie odwzorowanego rozkładu jazdy dla każdej linii komunikacji zbiorowej). W przypadku samochodów osobowych, wyznaczono macierz czasów przejazdu dla sieci obciążonej ( $tCur$ ). Cała procedura rozdzielania więźby ruchu miała charakter iteracyjny, polegający na wielokrotnym podziale całkowitej więźby ruchu na podróże realizowane komunikacją zbiorową i indywidualną. Po każdej iteracji wyznaczano macierz czasów przejazdu dla samochodów osobowych i ponownie stosowano model podziału zadań przewozowych. Równowagę w układzie uzyskano po 8-9 krokach iteracyjnych. Należy podkreślić, iż czasy przejazdu samochodów osobowych zostały wyznaczone poprzez obciążenie właściwej więźby z uwzględnieniem

przeliczenia liczby podróży na pojazdy (w tym celu wykorzystano wynik KBR 2000, gdzie wskaźnik napełnienia samochodu wynosił 1,36). Ponadto do więźby ruchu wyrażonej w samochodach osobowych dodano ruch zewnętrzny w stosunku do całego modelu symulacyjnego (ruch docelowy, źródłowy i tranzytowy).

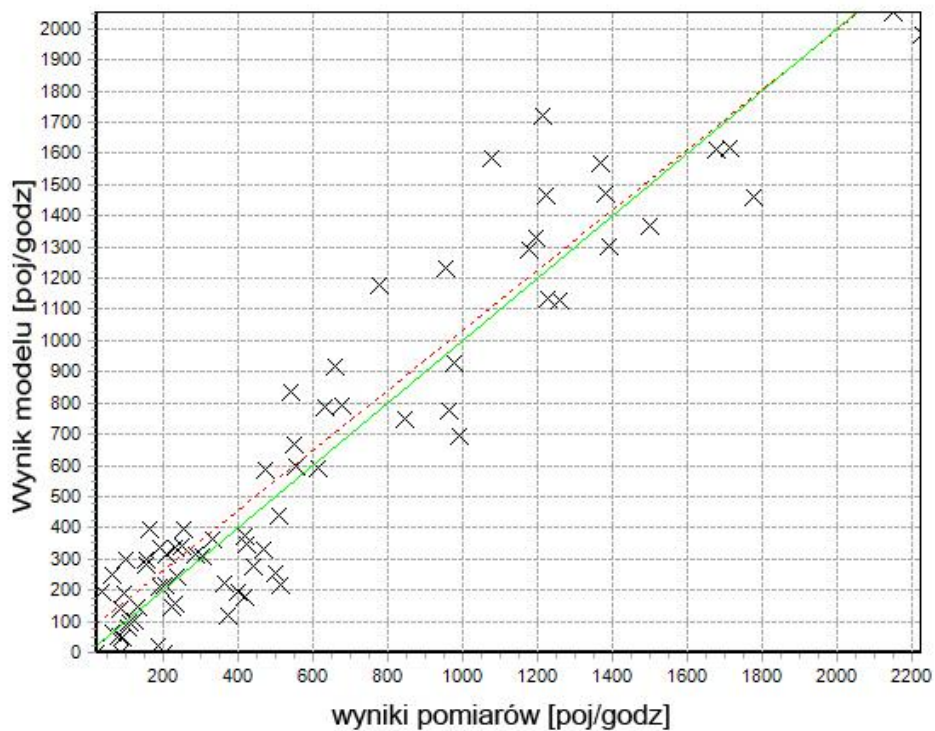
#### Rozkład ruchu i ocena stopnia dopasowania modelu do dostępnych pomiarów ruchu

Ostatnim elementem modelu było dokonanie rozkładu ruchu na sieć uliczną w modelu symulacyjnym. Dla poszczególnych środków transportu przyjęto następujące procedury rozkładu ruchu:

- dla komunikacji indywidualnej: wykorzystano procedurę *Equilibrium*, rozdzielając całkowity popyt na 5 części w etapie pierwotnym (metoda wszystko albo nic), a następnie ograniczono liczbę iteracji zewnętrznych poszukujących równowagi układu do 100. Parametry te zostały wykorzystane we wszystkich horyzontach czasowych,
- dla komunikacji zbiorowej wykorzystano procedurę *Headway Based Assignment*, gdzie częstotliwość kursowania taboru jest wyznaczana na podstawie zakodowanego rozkładu jazdy poszczególnych linii komunikacyjnych. Ponadto dokonano zmian we współczynnikach postrzeganego czasu podróży, zwiększając wagi czasu dojścia, odejścia i oczekiwania.

Procedura rozkładu ruchu, w pierwszej fazie, stanowiła podstawę do korekty parametrów sieci drogowej prowadząc do lepszego dopasowania uzyskanych wyników do dostępnych pomiarów przekrojowych. Stanowiło to podstawę do oceny jakości modelu. Dla tego etapu modelowania wykorzystano wyniki pomiarów przekrojowych dla komunikacji zbiorowej i indywidualnej dla godziny szczytu porannego. Łącznie w modelu wykorzystano 158 punktów pomiarowych, z czego 80 odnosiło się do komunikacji indywidualnej, a 78 do komunikacji zbiorowej. Na rysunku 4.7 przedstawiono porównanie wyników uzyskanego modelu symulacyjnego z dostępną bazą danych pomiarowych.

W przypadku porównania wyników modelu dla komunikacji indywidualnej z dostępnymi pomiarami przekrojowymi, osiągnięto współczynnik zgodności  $R^2=0,81$ . Nie jest to wartość zbyt wysoka, ale uwzględniając brak aktualnych wyników badań ruchu i szereg przyjętych założeń w procesie modelowania, uznano ten wynik za zadowalający. Porównując wyniki rozkładu więźby ruchu dla komunikacji zbiorowej z pomiarami potoków pasażerskich, uzyskano nieco słabszą zgodność modelu  $R^2=0,75$ . Również w tym przypadku uznano ten wynik za akceptowalny i podjęto prace nad prognozami.



Rys. 4.7. Wyniki kalibracji modelu – komunikacja indywidualna [71]

### Prognozy ruchu

Sporządzono prognozy ruchu na lata 2025 i 2035. Model prognostyczny składał się z dwóch zasadniczych części:

1. model popytu, odnoszący się do przyjętych prognoz demograficznych, rozmieszczenia zmiennych objaśniających w horyzontach czasowych oraz zmian we wskaźniku ruchliwości,
2. model sieci, uwzględniający planowane inwestycje infrastrukturalne, możliwe do zrealizowania w odpowiednim horyzoncie czasowym (inwestycje infrastrukturalne oddane do użytku do roku 2025 i 2035).

## Wnioski z aktualizacji modelu wraz z prognozami

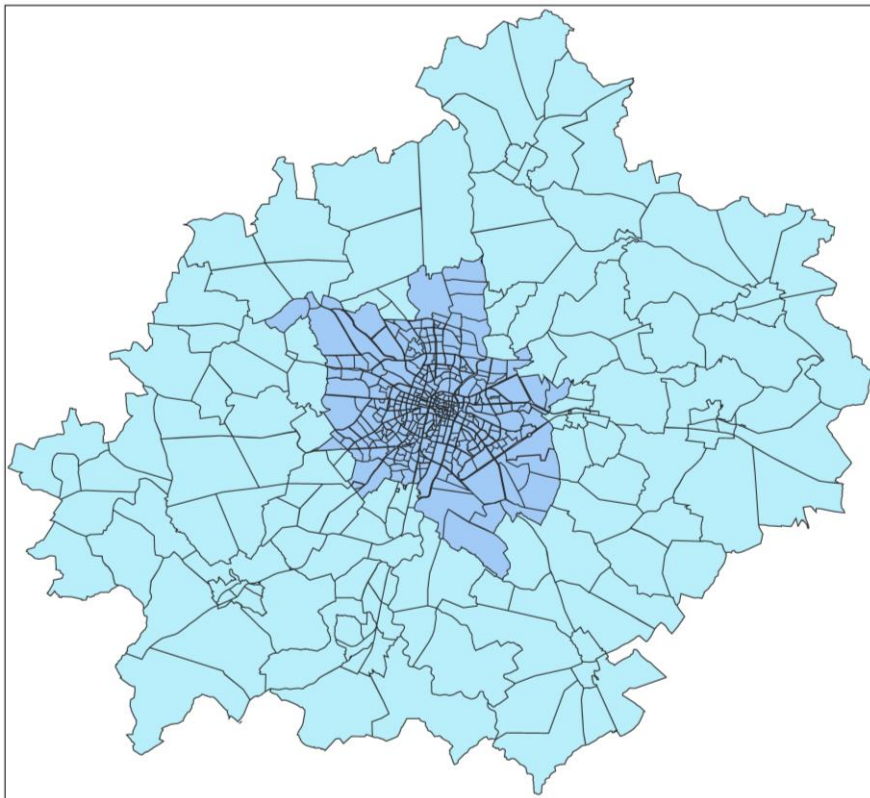
- Z uwagi na brak aktualnych wyników kompleksowych badań ruchu stanowiących podstawę do tego typu analiz, wykorzystane podejście do aktualizacji modelu miało charakter interdyscyplinarny, łączący wiele podejść i przyjętych założeń. Efektem finalnym był złożony zbiór procedur dający model o akceptowanych parametrach i stanowiący solidną podstawę do sporządzenia prognoz ruchu.
- Sporządzona prognoza demograficzna, bazowała na trendach potwierdzonych w dostępnych opracowaniach. Stanowiła ona podstawę do wyznaczenia potencjałów ruchotwórczych dla określonych horyzontów czasowych.
- Wykazano, że bezpośrednio zastosowanie formuł ruchotwórczych pochodzących z badania KBR2000 przyczynia się do zaniżenia ogólnego wskaźnika ruchliwości i wpływa na rozbieżności w wielkościach potoków pojazdów i potoków pasażerów w dostępnych punktach pomiarowych.
- W modelu generacji ruchu uwzględniono tendencje wzrostu ruchliwości w grupach podróży nie związanych z pracą i nauką, jako dopełnienie do ogólnej ruchliwości, wynikającej ze zmian cywilizacyjnych.
- Zastosowano logitowy model podziału zadań przewozowych, kalibrowany dla warunków z roku 2000. Z uwagi na brak aktualnych badań i pomiarów jedyną możliwością jego weryfikacji odnosiła się do sprawdzenia zgodności wyników rozkładu ruchu z dostępnymi pomiarami przekrojowymi.
- Pomimo przeprowadzonej aktualizacji macierzy ruchu, weryfikacji i aktualizacji wymaga również dotychczasowy model sieci (nieuwzględnione w aktualizacji 2009). Wynika to między innymi z:
  - błędnego zdefiniowania niektórych parametrów odcinków i węzłów,
  - nieaktualnego rozmieszczenia infrastruktury przystankowej,
  - błędnego zdefiniowania wielu relacji skrajnych w sieci,
  - nieaktualnego przebiegu linii transportu zbiorowego zarówno miejskiego jak i podmiejskiego i pozostałego, jak również nieaktualnej informacji o wielu rozkładach jazdy,
  - dostrzeżonej konieczności dogęszczenia sieci na niektórych obszarach,
  - zmian w podziale rejonów komunikacyjnych.

## 4.5. Nowy model ruchu

### Geneza nowego modelu ruchu

Na podstawie wniosków wynikających z wcześniejszych aktualizacji i weryfikacji modelu ruchu Aglomeracji Poznańskiej, badań prowadzonych w ramach niniejszej pracy oraz realizowanego przez autora projektu rozwojowego NCBiR, a także badań kompleksowych ruchu przeprowadzonych na zlecenie Urzędu Miasta Poznania w ramach opracowania Planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego Aglomeracji Poznańskiej opracowany został nowy model ruchu. Nowy model jest modelem czterostadiowym i obejmuje: generację ruchu, dystrybucję ruchu (rozkład przestrzenny), podział zadań przewozowych oraz rozkład ruchu na sieć [58, 66, 71, 74].

Zgodnie z rekomendacjami z weryfikacji przeprowadzonej w roku 2009 uszczegółowiony został podział obszaru Aglomeracji Poznańskiej na rejony komunikacyjne. Obecnie model zawiera 532 rejony komunikacyjne, z czego obszar Poznania obejmuje 384 rejony. W wyniku powyższego bardziej szczegółowo odzwierciedlono sieć drogową oraz sieć publicznego transportu zbiorowego. Aktualny układ rejonów komunikacyjnych przedstawiony został na rysunku 4.8.



Rys. 4.8. Podział obszaru Aglomeracji Poznańskiej na rejony komunikacyjne

### Generacja ruchu

Z uwagi na brak przeprowadzenia w ramach projektu szeroko zakrojonych badań ankietowych na podstawie których możliwe byłoby opracowanie generacji ruchu, wykorzystano generację przygotowaną w ramach badań do planu transportowego [4, 66, 74]. Dla opracowania generacji ruchu w podróży wewnętrznych, niezależnie od środka transportu posłużono się tam wynikami badań ankietowych oraz danymi statystycznymi

rejonów komunikacyjnych – tzw. zmiennymi objaśniającymi. Ponadto wykorzystane bazy danych, uzyskane z Urzędu Miasta Poznania oraz Zarządu Geodezji i Katastru Miejskiego GEOPOZ (dotyczących np. liczby mieszkańców, zakładów pracy, instytucji, itp.), zostały zgeokodowane i wprowadzone do modelu w programie Visum. Dla każdego rejonu zinwentaryzowano wartości wszystkich zmiennych objaśniających. Następnie za pomocą programu Statistica dla każdej motywacji wyliczono zależność wielkości generowanego ruchu – zarówno produkcji jak i atrakcji – od przypisanej mu zmiennej.

### Rozkład przestrzenny

Do odwzorowania rozkładu przestrzennego podróży przyjęto model grawitacyjny z funkcją przestrzeni opisaną zależnością:

$$f(U) = a \cdot U^b \cdot e^{c \cdot U}$$

gdzie:

U – czynnik wpływu opisany jako odległość między rejonami mierzony po sieci transportowej,

e – podstawa logarytmu naturalnego,

a, b, c – parametry określające kształt krzywej.

Strukturę przestrzenną podróży w ruchu wewnętrznym wykonano dla każdej z motywacji osobno, z tym zastrzeżeniem, że odpowiadające sobie motywacje odwrotne zsumowano. Na rysunku 4.9 przedstawiono kształty krzywych funkcji oporu przestrzeni dla wybranych motywacji, łącznie z parametrami opisującymi. Na osi rzędnych zamieszczono wartości funkcji oporu, natomiast na osi odciętych długość podróży wyrażoną w kilometrach.

### Podział zadań przewozowych

W procesie iteracyjnym poszukano zależności (wzoru logitowego) określającej podział między transport indywidualny i zbiorowy. Zależność ta ma postać:

$$U_{kz} = \frac{1}{1 + 5,19303 \cdot e^{-1,7423x}}$$

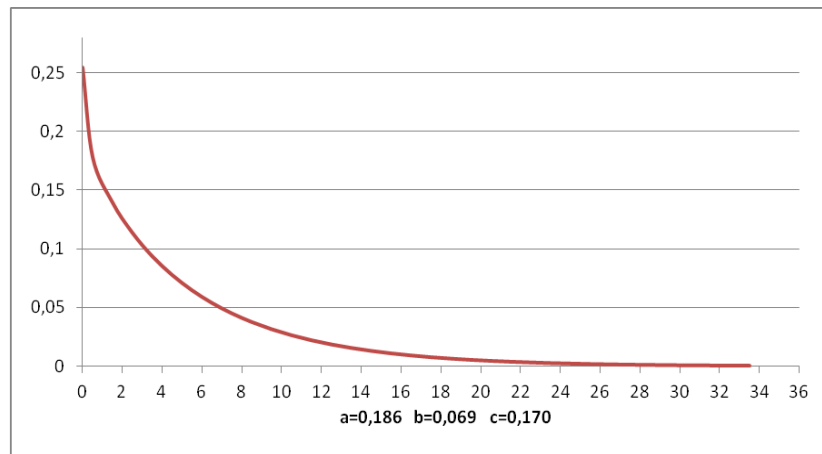
gdzie:

$U_{kz}$  – udział transportu zbiorowego na danej relacji źródło – cel,

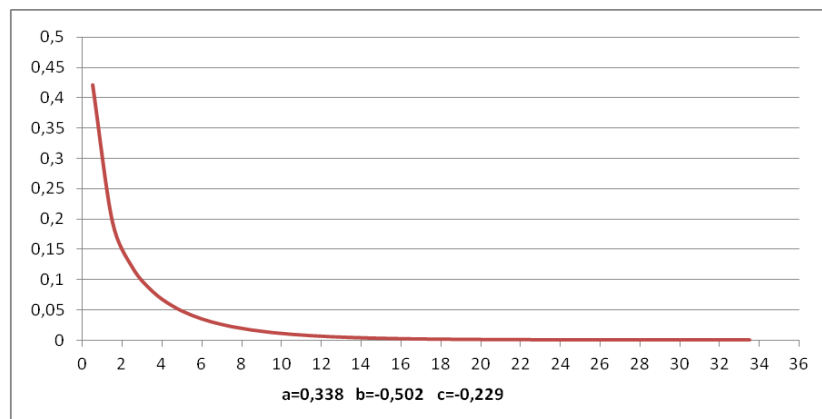
x – iloraz czasu przejazdu samochodem do czasu przejazdu transportem zbiorowym na danej relacji.



a)

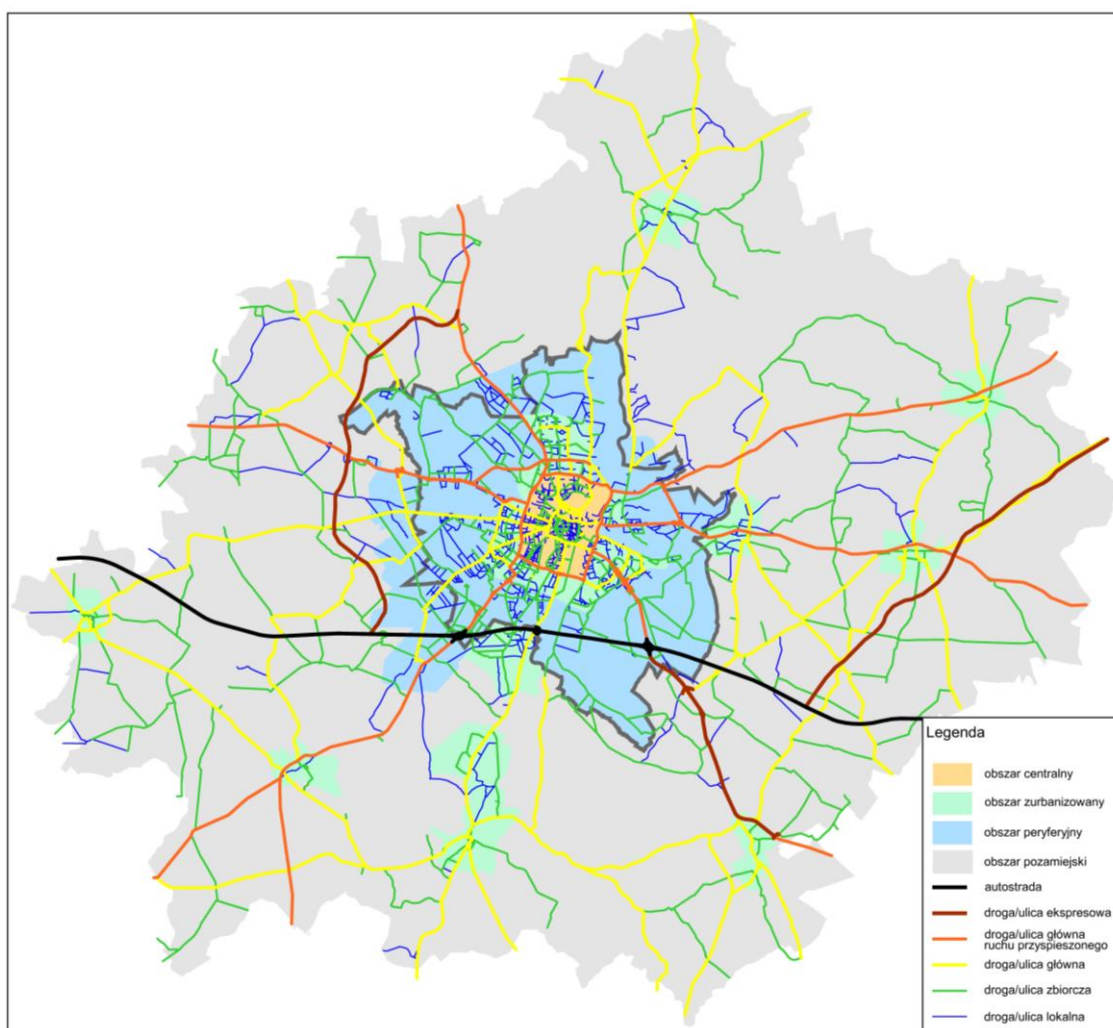


b)



Rys. 4.9. Krzywe funkcji oporu przestrzeni dla:  
a) motywacji Dom-Praca-Dom (D-P-D), b) motywacji Dom-Szkoła-Dom (D-S-D)

W modelu sieci drogowo-ulicznej dla obszaru Aglomeracji Poznańskiej zastosowano klasyfikację funkcjonalną odcinków w oparciu o klasy i przekroje odwzorowywanych ulic i dróg i ich przynależność do obszaru polityki transportowej. Aktualny model sieci przedstawiono na rys. 4.10.



Rys. 4.10. Model sieci drogowej

Struktura przestrzenna podróży w dobie określona na podstawie badań do planu transportowego [4] dla podróży ogółem przedstawiona została w tabeli 4.9, natomiast dla podróży indywidualnym transportem samochodowym w tabeli 4.10. Ponadto w tabeli 4.11 przedstawiono podział modalny podróży w obszarze, wyznaczony na podstawie badań ankietowych.

Tab. 4.9. Struktura przestrzenna podróży ogółem w dobie

	Poznań	Powiat Poznański	Obszar zewnętrzny	Razem
Poznań	873 610	208 090	74 867	1 156 567
Powiat poznański	207 613	251 010	18 065	476 689
Obszar zewnętrzny	76 084	18 270	43 422	137 777
Razem	1 157 308	477 371	136354	1 771 033

Tab. 4.10. Struktura przestrzenna podróży w indywidualnym transporcie samochodowym w dobie

	Poznań	Powiat Poznański	Obszar zewnętrzny	Razem
Poznań	313 832	157 559	47 803	519 195
powiat poznański	157 266	164 831	15 269	337 366
obszar zewnętrzny	47 520	15 353	39 102	101 976
Razem	518 619	337 743	102 174	958 536

Tab. 4.11. Podział modalny podróży w dobie

Obszar	Transport zbiorowy	Indywidualny transport samochodowy	Ruch rowerowy	Ruch pieszy
Poznań	35,7%	60,2%	2,3%	1,8%
Powiat Poznański	23,1%	76,0%	0,6%	0,3%
Aglomeracja Poznańska	29,2%	68,3%	1,5%	1,1%

#### Rozkład ruchu na sieć

Do rozkładu ruchu na sieć wykorzystano procedurę równoważenia z jednoczesnym stopniowym obciążaniem macierzami cząstkowymi: 40%, 25%, 20%, 15% sieci ruchem pojazdów osobowych, dostawczych i ciężarowych. W modelu ograniczonej przepustowości wykorzystano funkcję oporu dla poszczególnych typów odcinków BPR3. Do kalibracji modelu ruchu z wartościami natężenia ruchu uzyskanymi z pomiarów rzeczywistych na poszczególnych odcinkach wykorzystano moduł *TFlowFuzzy* w programie Visum.

## **5. WYKONANIE I ANALIZA SCENARIUSZY ROZWIĄZAŃ RUCHU DROGOWEGO POD WZGLĘDEM EMISJI SZKODLIWYCH SKŁADNIKÓW SPALIN PRZEZ POJAZDY UCZESTNICZĄCE W RUCHU**

### **5.1. Uwagi wstępne**

W ramach badań opisanych w niniejszym rozdziale dokonano praktycznego wykorzystania opracowanego w ramach pracy algorytmu analizy wpływu parametrów ruchu drogowego na zanieczyszczenie środowiska. Przeprowadzono wariantowe analizy wybranych scenariuszy rozwiązań ruchu drogowego związanych z już przeprowadzonymi, realizowanymi i planowanymi do realizacji inwestycjami w Poznaniu. Powyższe obejmowało zarówno analizy obszarowe, jak również punktowe odnoszące się do pojedynczych węzłów. Przedmiotowe analizy przeprowadzone zostały z wykorzystaniem makroskopowego modelu ruchu, jak również symulacji mikroskopowej. W analizach wykorzystano przygotowane wcześniej modele mikro i makrosymulacyjne.

Na przykładzie proponowanych zmian organizacji ruchu na ul. Garbary i ul. Mostowej w Poznaniu, polegających na wydzieleniu z istniejącej jezdni bus-pasów, przeanalizowano wpływ wprowadzanych usprawnień dla transportu zbiorowego na poziom emisji szkodliwych składników spalin. Pod uwagę wzięto również potencjalny wpływ zmian natężenia ruchu. Badaniu poddana została sieć w stanie bez wydzielonych pasów autobusowych oraz sieć z zaimplementowanymi zmianami. Ponadto przy wykorzystaniu makrosymulacyjnego modelu ruchu określony został potencjalny wpływ wprowadzanych zmian w organizacji ruchu na wielkość natężenia ruchu pojazdów na analizowanym fragmencie sieci transportowej. Na tej podstawie możliwe było dokonanie porównawczego zestawienia wyników i poddanie pod ocenę zasadności wprowadzania zmian z punktu widzenia korzyści środowiskowych.

W ramach prowadzonych analiz dokonano także próby oszacowania korzyści z wprowadzenia strefy środowiskowej w Poznaniu. W oparciu o rozwiązania wdrożone w Londynie (*Low Emission Zone*) oraz w Berlinie (*Umweltzone*) określono potencjalny obszar w Poznaniu jaki objąć mogłaby strefa środowiskowa i przy wykorzystaniu makrosymulacyjnego modelu ruchu oraz na podstawie przyjętych założeń dotyczących struktury pojazdów dokonano oszacowania redukcji poziomu emisji: CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub>, PM i SO<sub>2</sub>.

### **5.2. Wariantowa analiza przebudowy Ronda Rataje w Poznaniu**

#### **5.2.1. Definicja wariantów**

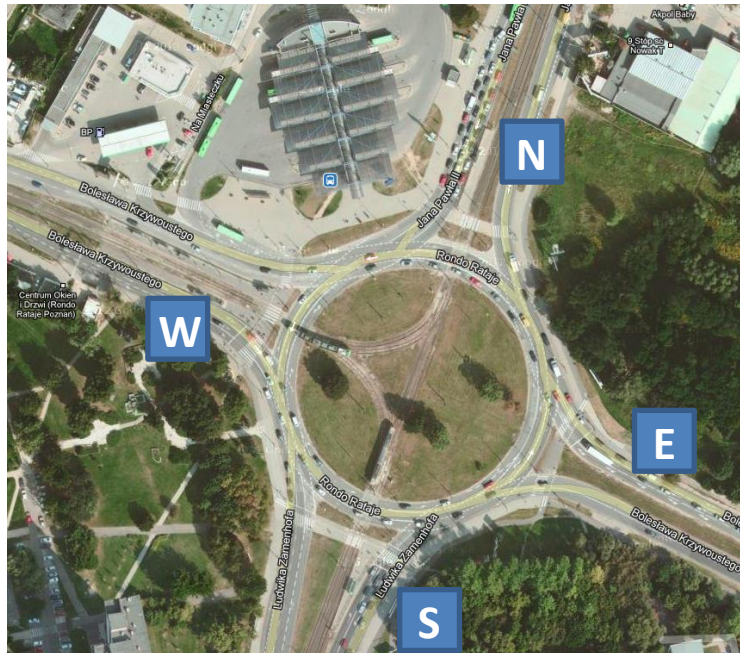
W ramach analiz dla Ronda Rataje weryfikacji poddanych zostało 5 różnych wariantów, w tym 4 inwestycyjne oraz dodatkowo wariant bezinwestycyjny. Poniżej omówione zostały wszystkie scenariusze poddane eksperymentom:

#### **S0 – stan istniejący (scenariusz bezinwestycyjny)**

Obecnie cały ruch (tramwajowy i autobusowy, samochodowy, pieszy i rowerowy) odbywa się jezdnią z trzema pasami ruchu w poziomie terenu. Ruch na rondzie sterowany jest za pomocą sygnalizacji świetlnej. Wloty ronda charakteryzują się następującymi relacjami (rys. 5.1):

- S: jeden pas wyłącznie do skrętu w lewo, jeden pas do jazdy w lewo lub na wprost, jeden pas do jazdy na wprost lub w prawo,

- W: jeden pas do jazdy w lewo lub na wprost, jeden pasy wyłącznie do jazdy na wprost, jeden pas wyłącznie do jazdy w prawo,
- E oraz N: jeden pas do jazdy w lewo lub na wprost, jeden pas do jazdy wyłącznie na wprost, jeden pas do jazdy na wprost lub w prawo.



Rys. 5.1. Rondo Rataje w Poznaniu – stan istniejący

### **S1 – rozbudowa ronda**

Rozbudowa w tym wariantcie polega na poprowadzeniu ruchu tramwajowego i samochodowego na poziomie terenu (poziom 0). Natomiast ruch pieszy i rowerowy odbywałby się poniżej poziomu terenu (poziom -1). Ponadto w ramach rozbudowy powstaną pasy dla autobusów (tzw. buspasy) oraz torowiska tramwajowo-autobusowe. Podziemne przejścia zapewnią bezkolizyjne dojścia piesze oraz przejazdy rowerowe do dworca autobusowego, pobliskich osiedli mieszkaniowych, centrum handlowego i przystanków tramwajowo-autobusowych. Poszerzony zostanie przekrój jezdni na obwodni ronda oraz na jego wlotach. Ruchem na rondzie będzie sterować sygnalizacja świetlna.

#### **S1a – rozbudowa ronda**

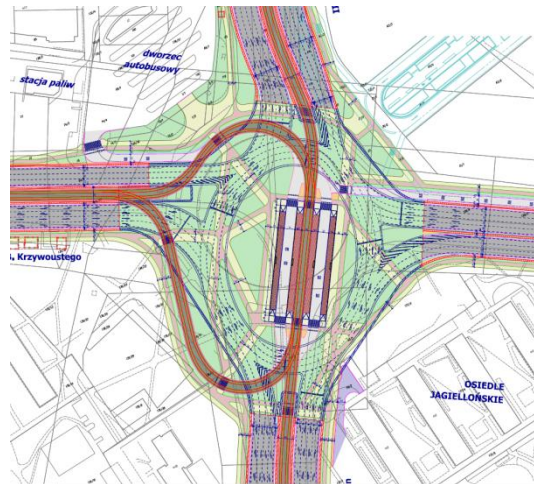
Scenariusz ten stanowi modyfikację scenariusza S1 polegającą na przeniesieniu wszystkich autobusów miejskiego i lokalnego transportu zbiorowego na wspólne pasy tramwajowo-autobusowe. Pozostałe rozwiązania identyczne jak w scenariuszu S1.

### **S2 – rozbudowa ronda**

Ruchu samochodowy odbywać się będzie w poziomie terenu (poziom 0). Natomiast ruch tramwajowy, pieszy i rowerowy będzie odbywać się poniżej poziomu terenu (poziom -1). Ponadto w ramach rozbudowy powstaną podziemne przejścia, które zapewnią dojścia piesze oraz przejazdy rowerowe do: dworca autobusowego, pobliskich osiedli, centrum handlowego oraz przystanków tramwajowych. Poszerzony zostanie przekrój jezdni na obwodni ronda oraz na jego wlotach (rys. 5.2). Ruchem na rondzie (poziom 0) oraz pod rondem (poziom -1) będzie sterować sygnalizacja świetlna.

### S3 – rozbudowa ronda

Wariant ten zakłada rozbudowę, która polega na prowadzeniu ruchu tramwajowego, autobusowego, pieszego i rowerowego w poziomie terenu (poziom 0). Natomiast ruch samochodowy odbywałby się poniżej poziomu terenu (poziom -1). Wariant przewiduje budowę torowiska tramwajowo-autobusowego oraz przejść naziemnych, które zapewnią dojścia piesze oraz przejazdy rowerowe do dworca autobusowego, pobliskich osiedli mieszkaniowych, centrum handlowego oraz przystanku tramwajowego. Wewnątrz ronda zostanie zlokalizowany jeden podwójny przystanek dla tramwajów oraz autobusów. Poszerzony zostanie przekrój jezdni na obwodni ronda (w kształcie elipsy) oraz na jego wlotach. Ruchem na rondzie (poziom 0) oraz pod rondem (poziom -1) będzie sterować sygnalizacja świetlna.



Rys. 5.2. Rondo Rataje – przebudowa według scenariusza S2

Analizy ruchu dla każdego z wybranych scenariuszy przebudowy Ronda Rataje oraz stanu istniejącego wykonane zostały w dwóch wariantach:

- z uwzględnieniem obecnego natężenia ruchu,
- jako prognostyczne – przy założeniu wzrostu natężenia ruchu wyłącznie samochodów osobowych w kolejnych 10 latach średnio o 2,5% w skali roku i wyeliminowaniu pojazdów, które nie spełniały normy min. EURO3 – na podstawie analizy polityki transportowej Poznania. Zgodnie z nią dążyć się powinno do ograniczenia ruchu pojazdów ciężarowych na terenie miasta, w szczególności w odniesieniu do ruchu tranzytowego, a więc zasadne wydaje się zachowanie ich aktualnego natężenia (a w efekcie spadku udziału w globalnym natężeniu ruchu).

Do oszacowania wielkości i rozkładu ruchu drogowego dla stanu istniejącego wykorzystano wyniki przeprowadzonych pomiarów natężenia ruchu (opisane w rozdziale 3) dla godzin szczytu porannego. Przy wykorzystaniu mikroskopowego modelu ruchu zaimplementowanego w programie VISSIM określono sposób dystrybucji natężenia przedstawionego w tabeli 5.1. Na podstawie przyjętego rocznego wskaźnika wzrostu wyznaczono wartości natężenia ruchu na wlotach w horyzoncie 10 lat (tab. 5.2).

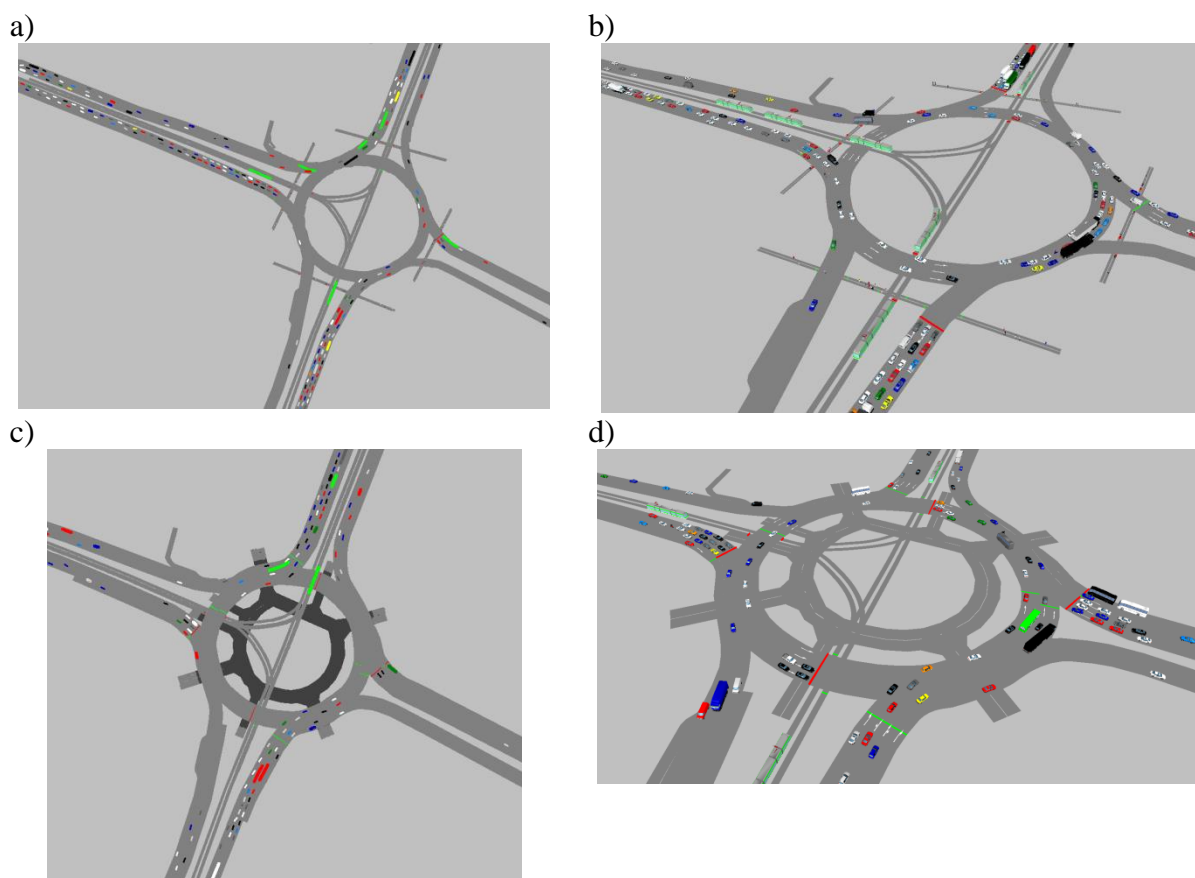


Tab. 5.1. Zestawienie zmierzonych wartości natężenia ruchu na wlotach i wylotach Ronda Rataje

	Kierunek S		Kierunek N		Kierunek E		Kierunek W	
	Wlot	Wylot	Wlot	Wylot	Wlot	Wylot	Wlot	Wylot
Samochody ciężarowe	98	90	90	98	10	10	16	6
Samochody dostawcze	94	114	134	116	114	132	118	106
Samochody osobowe	1308	1196	1068	906	1226	1834	1226	942
Motocykle	18	24	42	26	16	22	16	16
Autobusy	32	18	108	36	32	124	26	24

Tab. 5.2. Wartości natężenia ruchu na Rondzie Rataje dla horyzontu 10 lat

	Kierunek S	Kierunek N	Kierunek E	Kierunek W
Samochody ciężarowe	98	90	10	16
Samochody dostawcze	94	134	114	118
Samochody osobowe	1494	1302	1494	1494
Motocykle	18	42	16	16
Autobusy	28	34	10	5
Autokary	4	74	22	21



Rys. 5.3. Przebieg symulacji w scenariuszu S0: a) widok 2d, b) widok 3d oraz w scenariuszu S1: c) widok 2d, d) widok 3d

W oparciu o przygotowane dane wejściowe oraz określoną na podstawie danych Wydziału Komunikacji Urzędu Miasta Poznania strukturę pojazdów, po właściwym przygotowaniu sieci drogowej dla analizowanych wariantów, skalibrowano odpowiednio modele przygotowane w programie VISSIM. Na tak przygotowanych sieciach dla wszystkich założonych scenariuszy i wariantów przeprowadzono odpowiednie symulacje (rys. 5.3), w ramach których otrzymano dane w zakresie emisji szkodliwych składników spalin przez pojazdy uczestniczące w ruchu.

### **5.2.2. Uzyskane wyniki i porównanie scenariuszy**

Podczas symulacji dokonano rejestracji parametrów pozwalających oceniać i porównywać scenariusze na trzech poziomach szczegółowości:

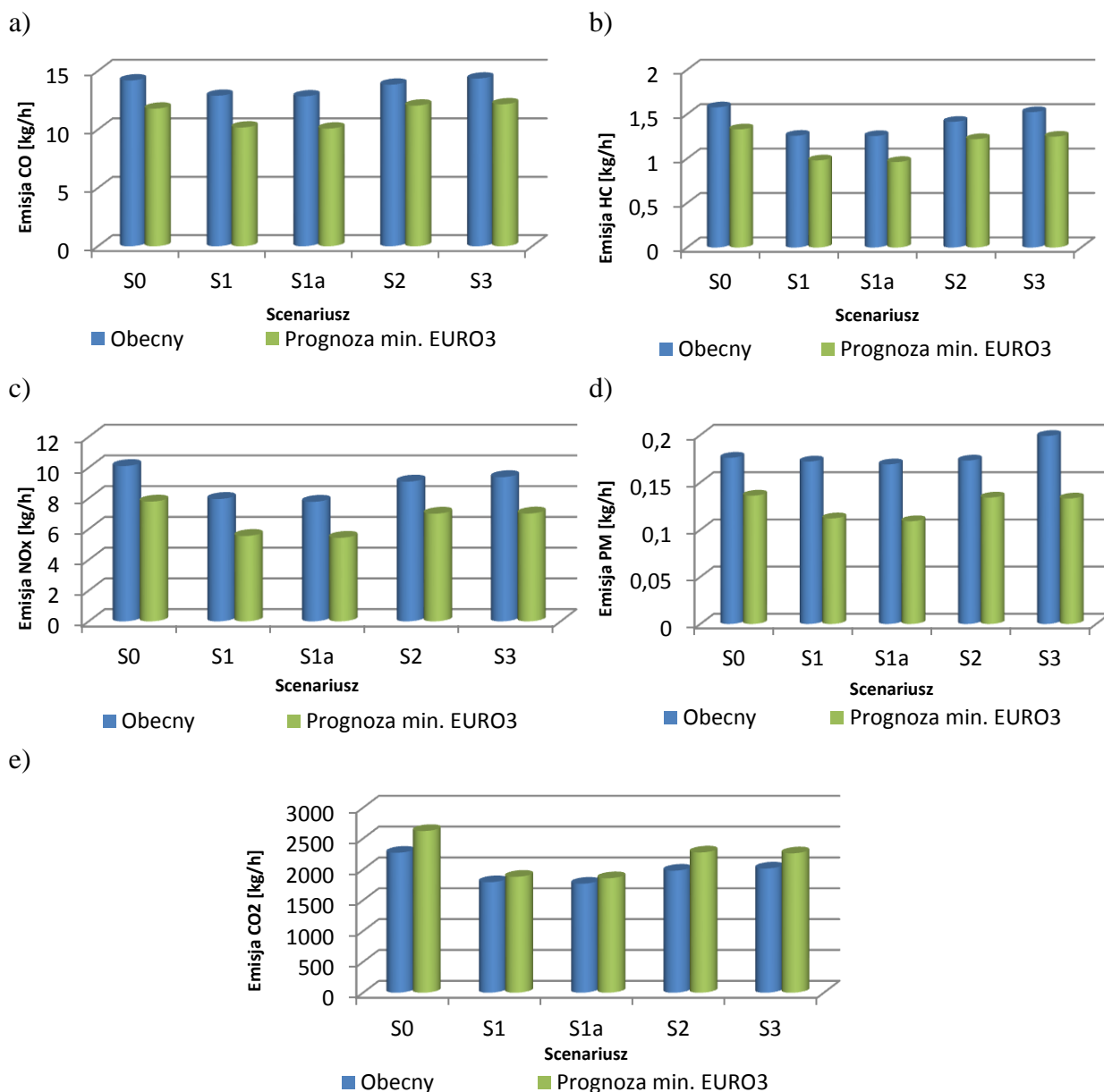
1. ogólna ocena warunków ruchu w analizowanej sieci – łączna wartości emisji (CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM, CO<sub>2</sub>) przedstawiona zbiorczo dla wszystkich pojazdów poruszających się w sieci,
2. ocena w podziale na klasy pojazdów (samochody osobowe, ciężarowe, dostawcze, autobusy i autokary),
3. szczegółowa ocena charakterystyki pojedynczych pojazdów pojawiających się w sieci – umożliwiająca agregowanie wyników według dowolnie przyjętych kryteriów.

W niniejszej pracy skupiono się na dwóch pierwszych poziomach szczegółowości analizy.

#### Ogólna ocena stanu sieci

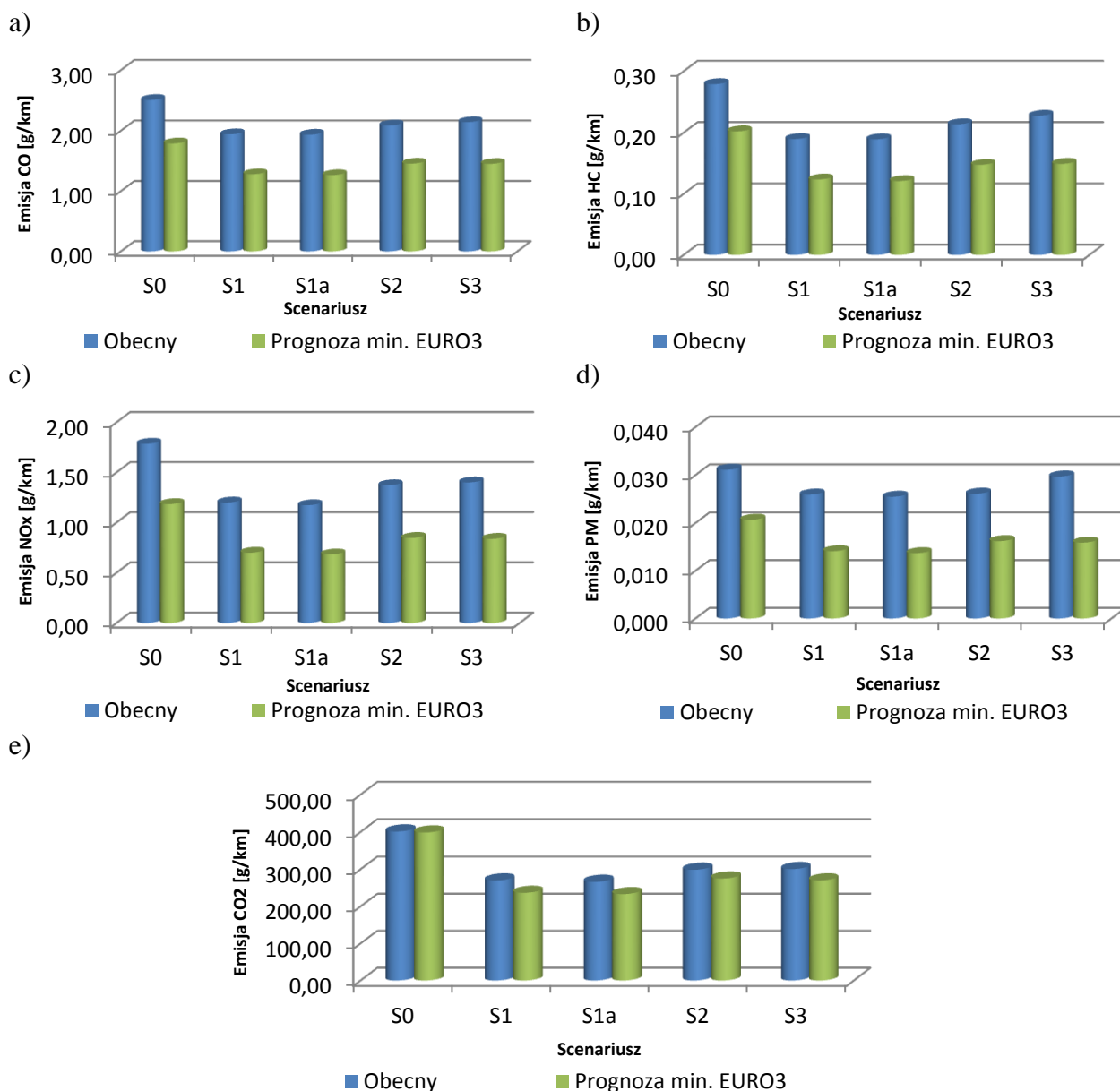
Najważniejszym parametrem z punktu prowadzonych analiz jest rozkład wartości emisji toksycznych składników spalin: CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM oraz dodatkowo emisji CO<sub>2</sub> dla poszczególnych wariantów sieci. Na podstawie danych uzyskanych w trakcie symulacji w zakresie globalnych wartości emisji [kg/h] (rys. 5.4) oraz liczby pojazdów, które znajdowały się w sieci lub ją opuściły do momentu zakończenia rejestrowania danych i całkowitego dystansu przebytego przez wszystkie pojazdy, możliwe było wyznaczenie średnich jednostkowych wartości emisji wyrażonych w g/km (rys. 5.5) oraz w g/pojazd (rys. 5.6). Rozkład wartości emisji zarówno w ujęciu globalnym jak i w średnim jednostkowym w odniesieniu do 1 km czy też pojazdu pozwala na stwierdzenie, że dla prognostycznego natężenia ruchu, pomimo jego wzrostu w odniesieniu do samochodów osobowych, wyłączenie z całkowitej struktury pojazdów, tych które nie spełniają normy emisji spalin minimum EURO 3 skutkuje spadkiem emisji badanych składników. Szczególnie jest to widoczne w scenariuszach inwestycyjnych.





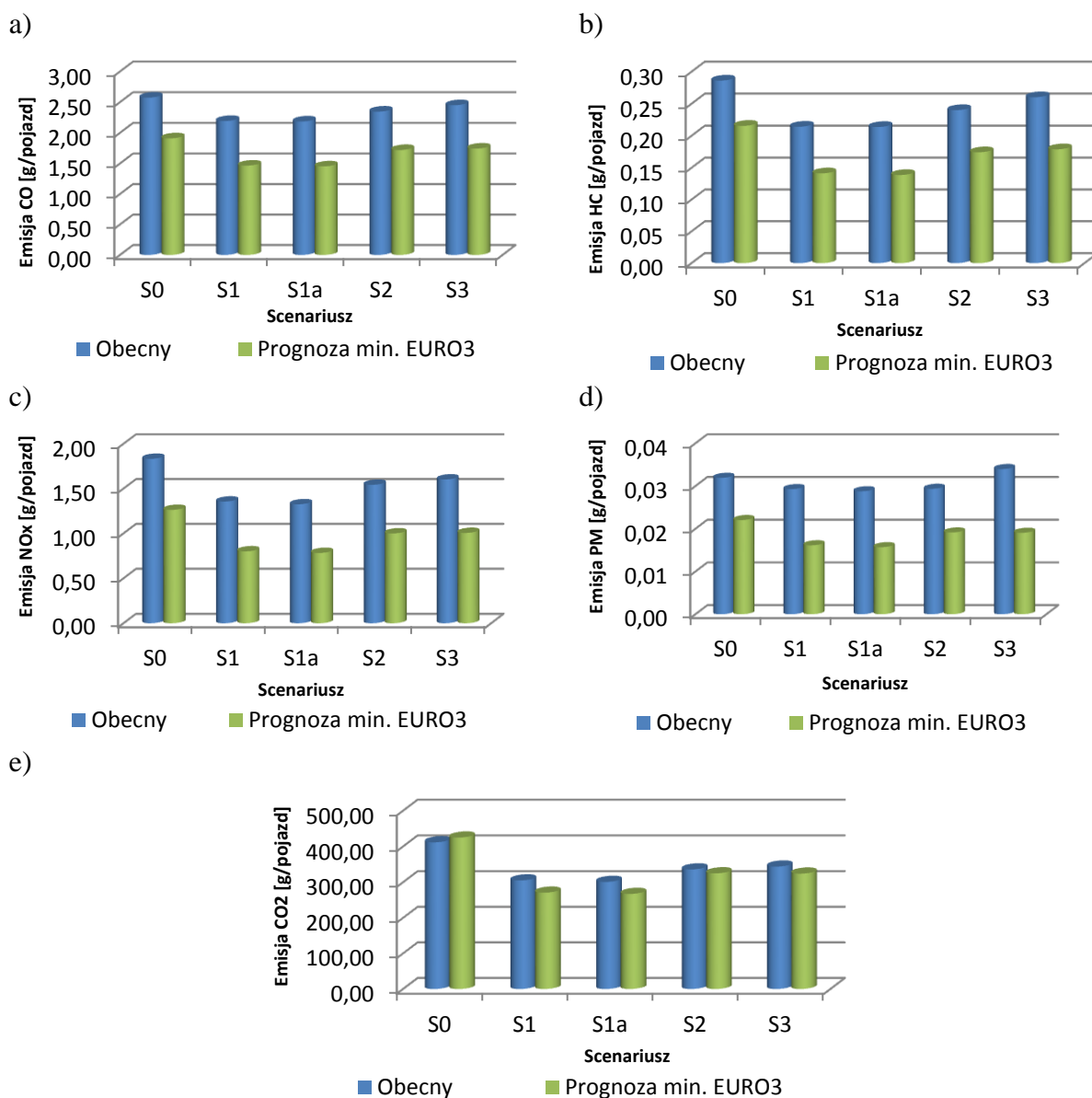
Rys. 5.4. Globalne wartości emisji w odniesieniu do poszczególnych scenariuszy i wariantów dla CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM i CO<sub>2</sub>

Analizując globalne wartości emisji przedstawione na rys. 5.4 zauważyć należy, że spośród analizowanych rozwiązań najbardziej efektywnym z punktu widzenia emisji składników spalin jest scenariusz S1 oraz S1a. Warto podkreślić, że po usunięciu z analizy pojazdów spełniających normy emisji EURO1 i EURO2 i wzroście natężenia ruchu samochodów osobowych, globalne wartości emisji w poszczególnych scenariuszach są znacząco niższe. Wynika to przede wszystkim z faktu, iż pierwotny udział tych właśnie grup w całej populacji był na poziomie 30%. Pomimo, że globalne wartości emisji wskazują scenariusze S1 i S1a jako najlepsze, pamiętać należy, że w poszczególnych scenariuszach w czasie rejestracji parametrów symulacji, w sieci pojawić się mogła różna liczba pojazdów, a co za tym idzie całkowita droga przebyta przez te pojazdy również była różna, co w efekcie miało wpływ na otrzymane wartości. Dlatego też dane przedstawione na rys. 5.4 powinny pełnić rolę pomocniczą przy wskazywaniu najkorzystniejszego scenariusza. Przy ostatecznym wyborze należy również kierować się jednostkowymi wartościami emisji (rys. 5.5 i rys. 5.6).



Rys. 5.5. Średnie wartości emisji pojazdów w gramach na 1 km dla poszczególnych scenariuszy i wariantów dla CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM i CO<sub>2</sub>

W przypadku scenariuszy inwestycyjnych, zauważyć należy, że średni jednostkowy rozkład emisji poszczególnych składników spalin (rys. 5.5 i 5.6) nie różnicuje ich tak znacząco jak to miało miejsce w przypadku wartości globalnych. Potwierdzenie tutaj znajduje również znaczący wpływ zmian w strukturze rodzajowej pojazdów – wyłączenia z analiz normy EURO1 i EURO2, kosztem zwiększenia udziału wyższych norm. Wartości uzyskane dla scenariusza bezinwestycyjnego świadczyć mogą o tym, że ewentualne zyski wynikające z odmłodzenia floty pojazdów pochłaniane są przez niewydolność sieci już przy obecnym natężeniu ruchu. Średnie jednostkowe charakterystyki emisji w odniesieniu do pojedynczego pojazdu (rys. 5.6) są zbliżone do wartości na kilometr. Wynika to z faktu, iż droga, jaką miały do pokonania pojazdy pojawiające się w sieci (w zależności od kierunku) średnio wynosiła ok. 1000-1100 m.

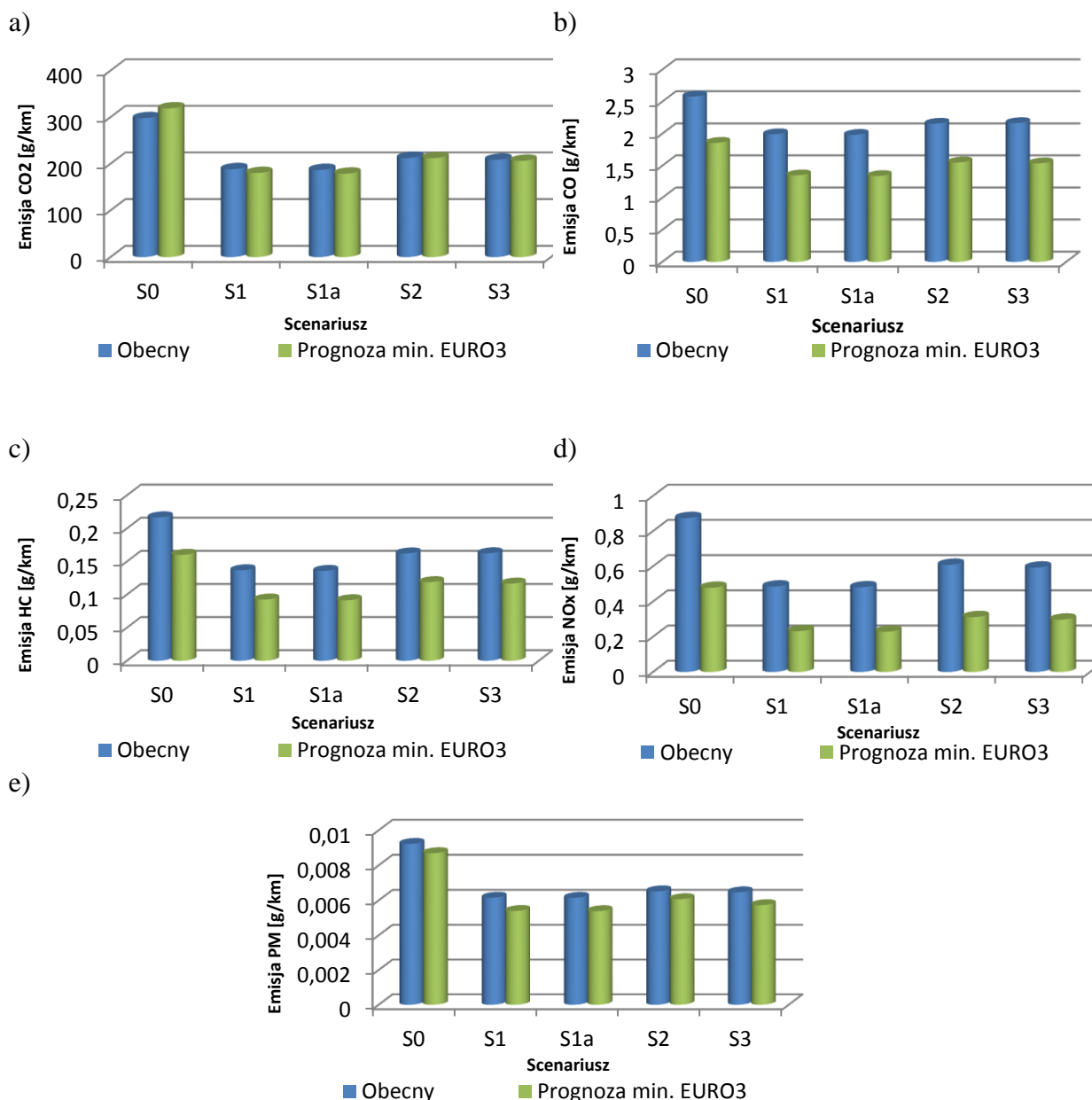


Rys. 5.6. Wartości emisji w przeliczeniu na 1 pojazd dla poszczególnych scenariuszy i wariantów dla CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM i CO<sub>2</sub>

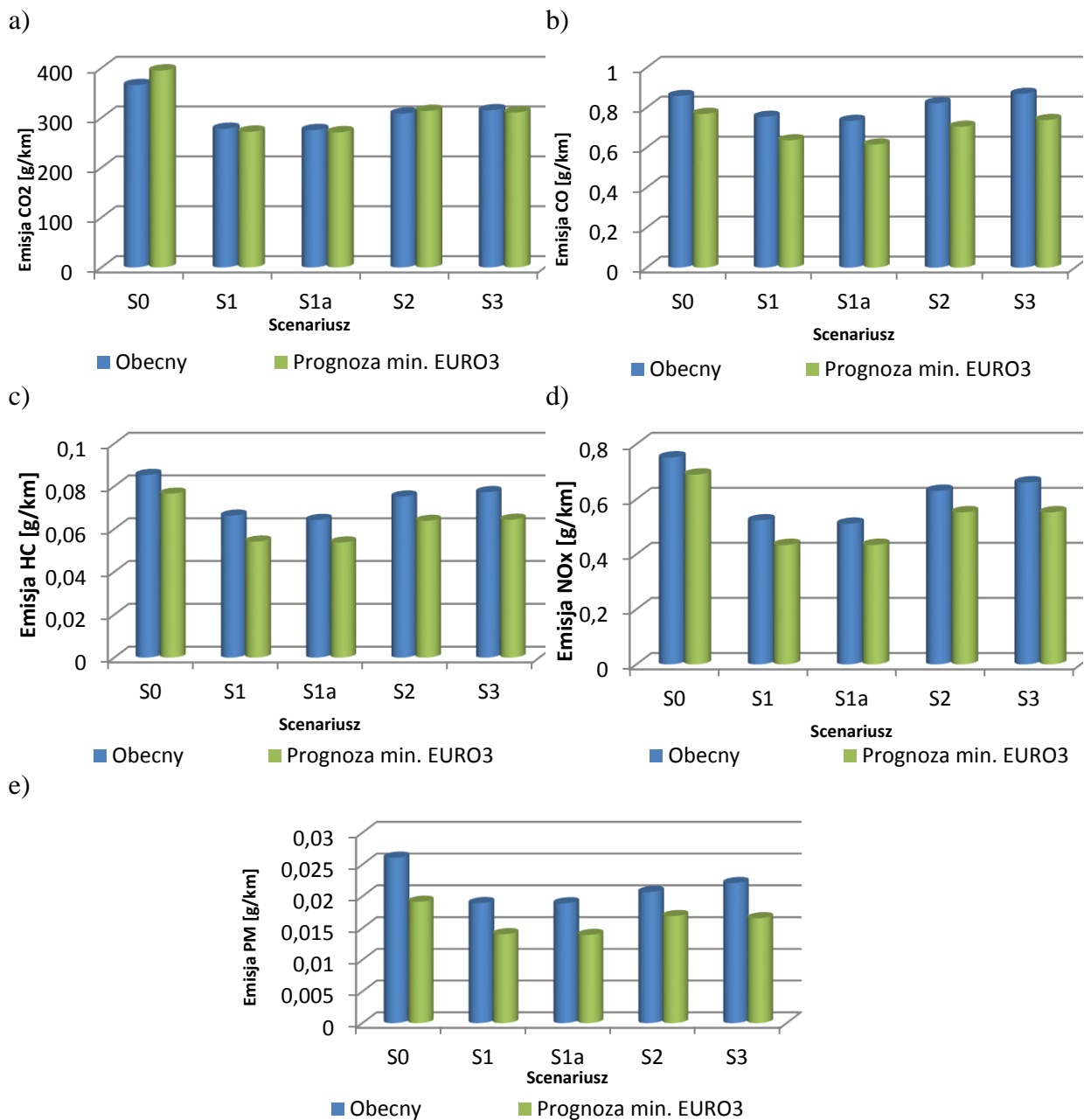
Mimo, że dla poszczególnych scenariuszy inwestycyjnych średnie wartości jednostkowych emisji mają zbliżony charakter i nie można wskazać scenariusza znacząco lepszego od pozostałych z punktu widzenia przedmiotu prowadzonych badań, to jednak tak samo jak miało to miejsce przy wartościach globalnych, najlepszymi okazują się być scenariusze S1 i S1a. W chwili obecnej różnice między tymi dwoma scenariuszami są bardzo niewielkie, ale z przewagą dla scenariusza S1a, w którym założono przeniesienia prawie całego ruchu autobusów miejskich i podmiejskich na specjalnie przygotowane do tego celu torowiska tramwajowo-autobusowe.

## Analiza poziomu emisji pojazdów w rozważanych scenariuszach z uwzględnieniem podziału na rodzaj pojazdu

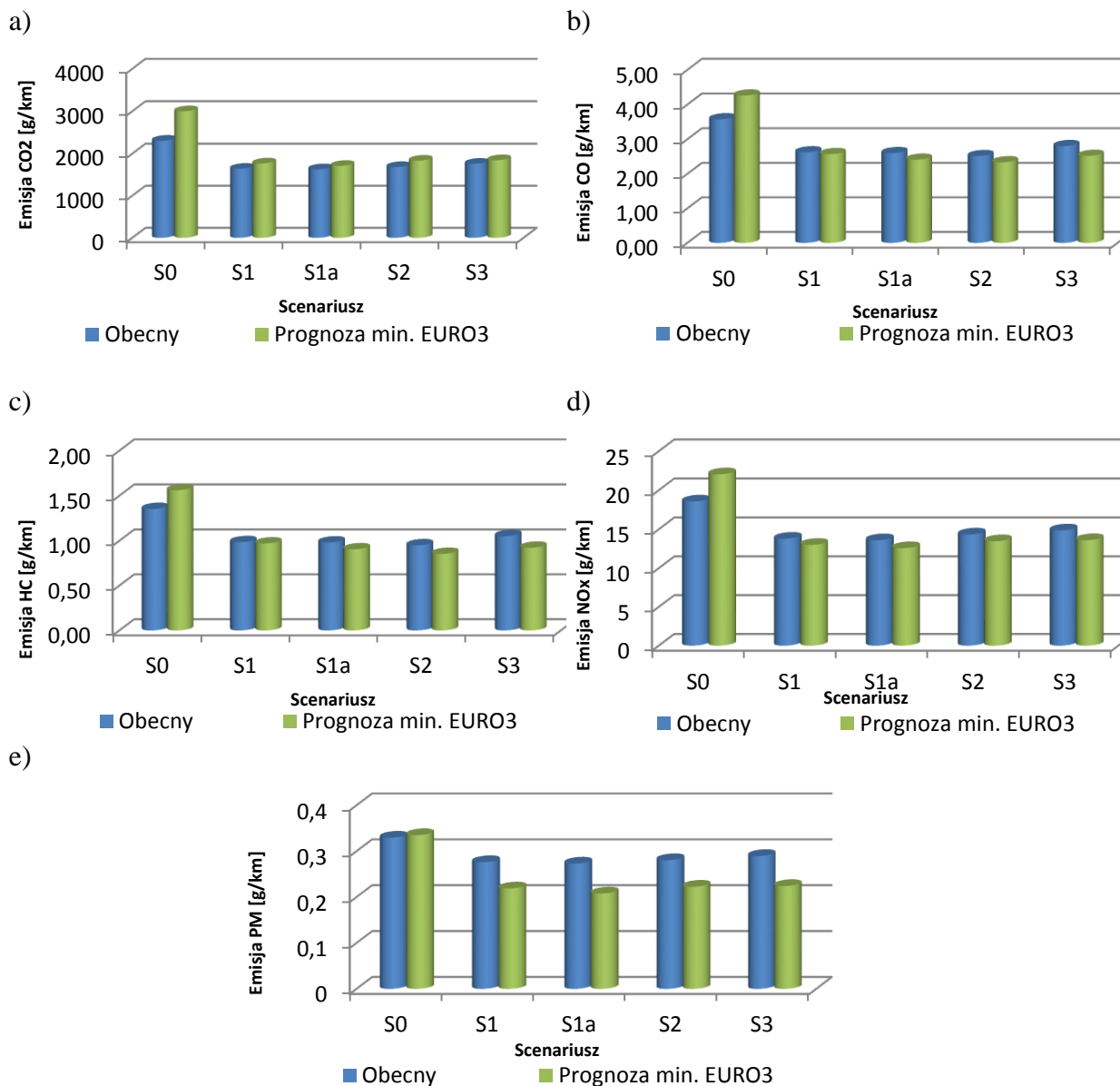
Dzięki szczegółowym danym o pojazdach pozyskanych z przeprowadzonych symulacji możliwe było scharakteryzowanie wielkości emisji oddzielnie dla poszczególnych klas pojazdów w postaci jednostkowej w przeliczeniu na 1 km (rys. 5.7 – 5.10). Analizując te wartości zauważyć należy, że ich rozkład jest zbliżony z ogólnymi wartościami dla całej sieci. Również w tym przypadku najlepsze efekty uzyskuje się na bazie scenariusza S1 oraz S1a.



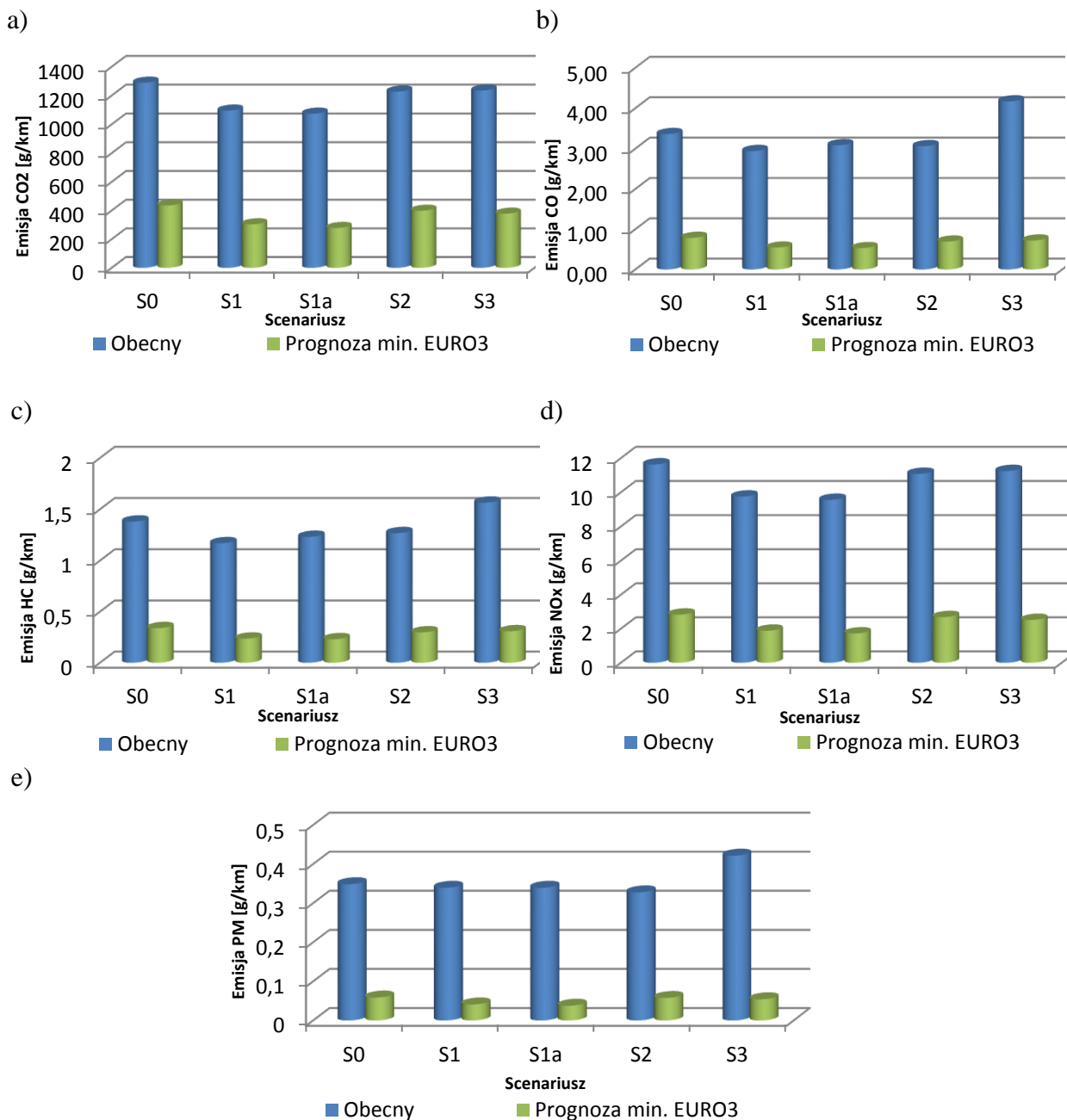
Rys. 5.7. Średnia jednostkowa emisja [g/km] analizowanych składników spalin dla samochodów osobowych



Rys. 5.8. Średnia jednostkowa emisja [g/km] analizowanych składników spalin dla samochodów dostawczych



Rys. 5.9. Średnia jednostkowa emisja [g/km] analizowanych składników spalin dla samochodów ciężarowych



Rys. 5.10. Średnia jednostkowa emisja [g/km] analizowanych składników spalin łącznie dla autobusów i autokarów

Spośród powyższych danych na szczególną uwagę zasługują charakterystyki dla autobusów i autokarów, które w przypadku wartości ogólnych dają w zasadzie odwrotne wyniki niż pozostałe klasy pojazdów. Analizując jednak wartości jednostkowe, stwierdzić można, że podobnie jak w pozostałych przypadkach przewagą (choć niewielką) charakteryzują się scenariusze S1 i S1a. W tej łącznej klasie pojazdów na uwagę zasługują również duże oszczędności związane z wyłączeniem w modelach prognostycznych pojazdów spełniających normy EURO1 i EURO2.

### **5.3. Analiza wpływu zmian organizacji ruchu w ciągu ul. Garbary i Mostowej w Poznaniu**

#### **5.3.1. Charakterystyka analizowanego fragmentu sieci transportowej**

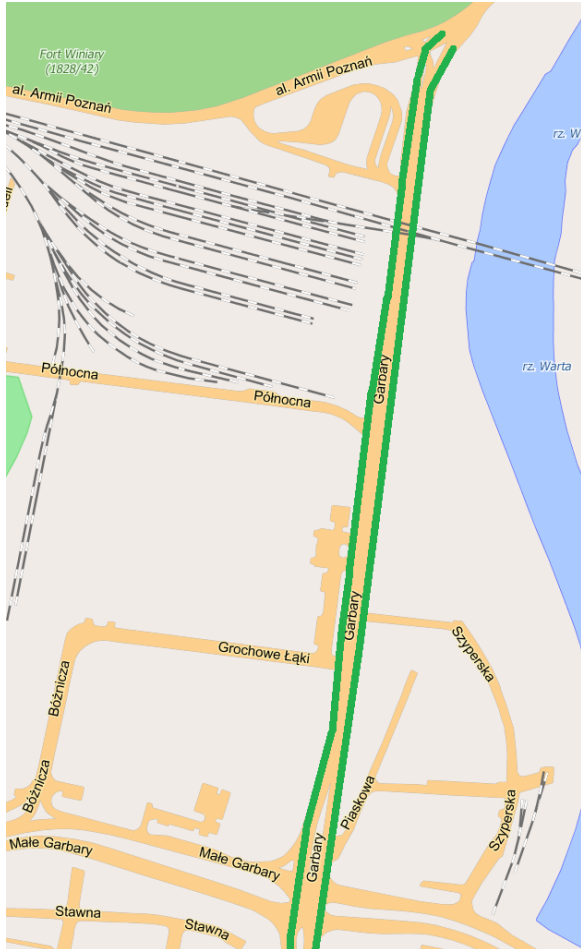
Analizowany obszar obejmuje ciągi ulic zlokalizowanych w ścisłym centrum miasta tj. ul. Garbary, Kazimierza Wielkiego, Mostowa, przebiegające zasadniczo na osi północ-południe. Trasa ta odgrywa znaczącą rolę w systemie transportowym Poznania. Schematyczna lokalizacji obszaru objętego analizą przedstawiona została na rys. 5.11 oraz szczegółowo na rys. 5.12. Obecnie przedmiotowe ulice w zasadzie na całej swojej długości posiadają po dwa pasy ruchu w jednym kierunku. Są to trasy częściowo jednokierunkowe (ul. Kazimierza Wielkiego, Mostowa, Garbary – fragment) i wyposażone w sygnalizacje świetlną. Dodatkowo trasa przeplata się z ruchem tramwajowym. Łączna długość dróg na których rozważa się wdrożenie pasów autobusowych wynosi 4500 m. Analizowany obszar charakteryzuje się zabudową zwartą, co uniemożliwia dalszy rozwój sieci drogowej. Przystanki autobusowe w ciągu analizowanej trasy mają charakter mieszany, tj. część z nich posiada zatoki autobusowe, a część obsługiwana jest bezpośrednio z najbliższego pasa ruchu powodując tym samym utrudnienia dla pozostałych użytkowników. Dodatkowo na całym obszarze analizy obowiązuje zakaz poruszania się pojazdów ciężarowych o dopuszczalnej masie całkowitej przekraczającej 16 t oraz dodatkowo zakaz poruszania się pojazdów o masie powyżej 3,5 t, co przedstawione zostało na rysunku 5.13. W momencie prowadzenia analiz po najbardziej obciążonym, transportem zbiorowym, odcinku analizowanej trasy przebiegało 7 linii autobusowych.



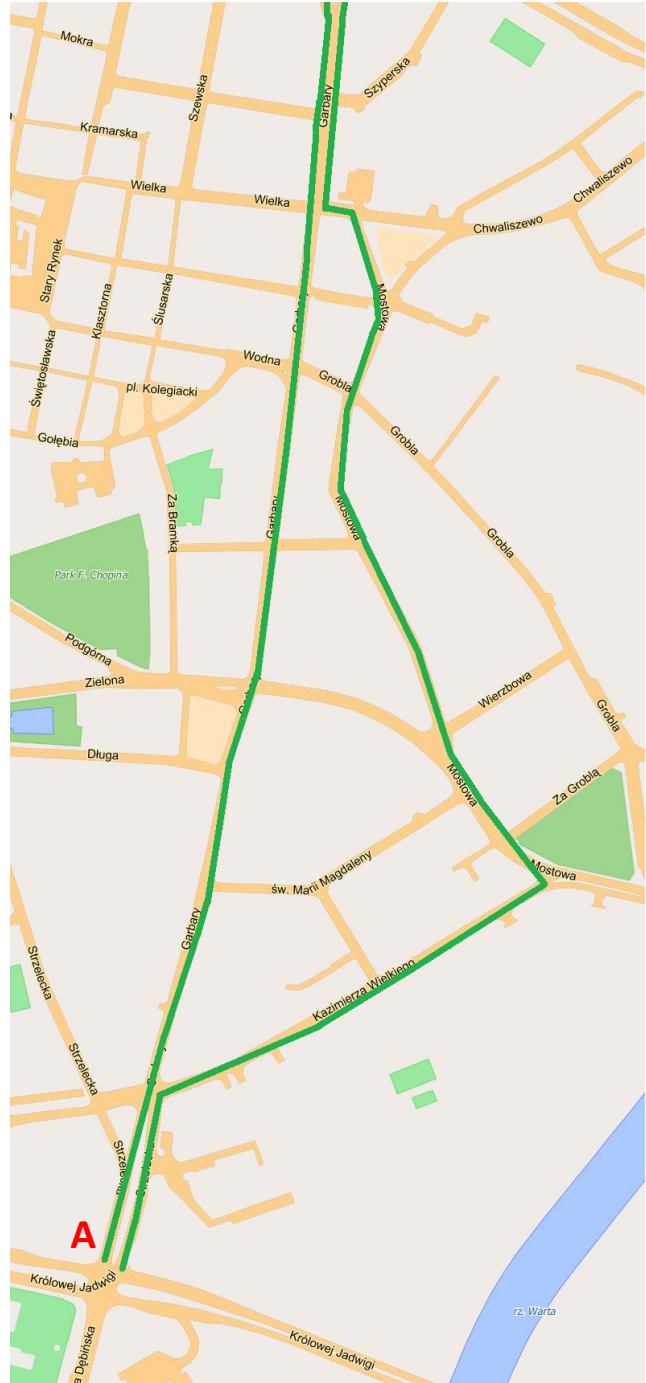


Rys. 5.11. Lokalizacja fragmentu sieci drogowej poddanej analizie na tle mapy całego Poznania

a)



b)

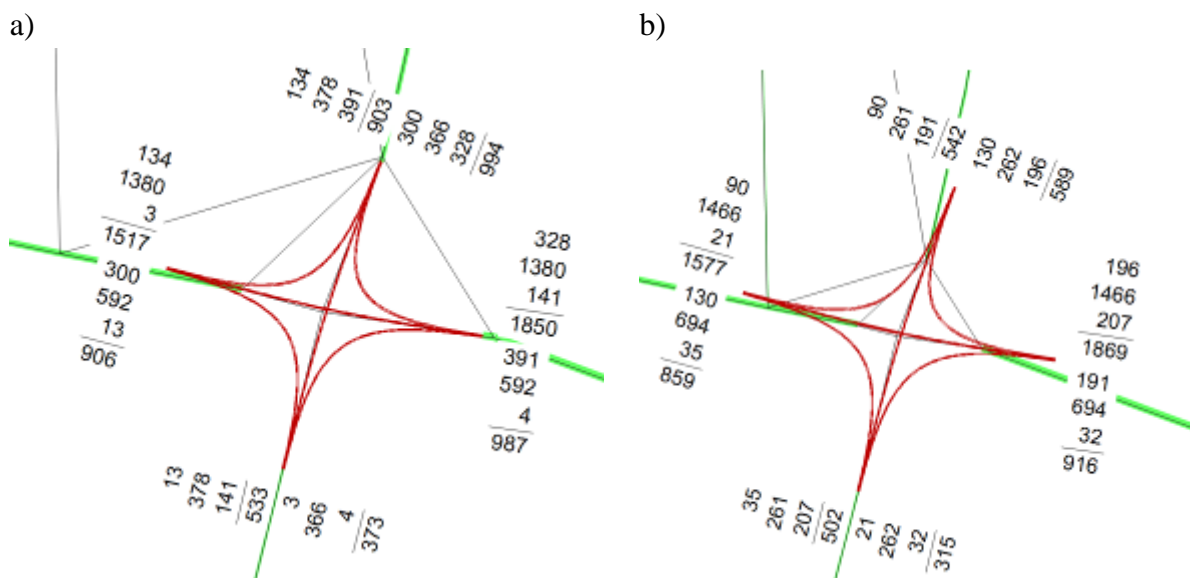


Rys. 5.12. Szczegółowa lokalizacja trasy z zaznaczonymi przebiegami planowanych pasów autobusowych: a) odcinek ul. Garbary od ul. Szelągowskiej do skrzyżowania z ul. Małe Garbary/Estkowskiego, b) odcinek ul. Garbary od skrzyżowania z ul. Estkowskiego i Małe Garbady do skrzyżowania z ul. Królowej Jadwigi



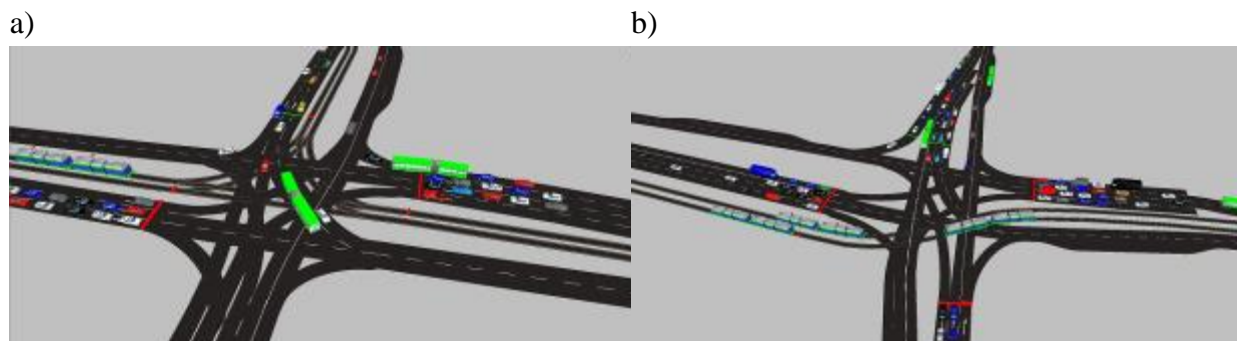


badanych odcinkach oraz dystrybucję pojazdów na poszczególnych skrzyżowaniach wchodzących w zakres analizowanego obszaru, odzwierciedlony w wariancie W1a, określono za pomocą modelu ruchu dla Poznania i programu do makroskopowej symulacji ruchu VISUM. Wyniki prowadzonych analiz (przed i po wdrożeniu pasów autobusowych) dla wybranego węzła (Królowej Jadwigi – Garbary oznaczonego na rys. 5.12 literą A), zaprezentowano na rys. 5.14.



Rys. 5.14. Natężenie ruchu [pojazdów/godzinę] na przykładowym węźle drogowym analizowanej trasy – skrzyżowanie ulic Królowej Jadwigi i Garbary (oznaczone literą A na rys. 5.12) – określone z wykorzystaniem makrosymulacyjnego modelu ruchu miasta Poznania: a) dane wyjściowe – wariant W0 oraz W1, b) natężenie ruchu „po zmianach” – wariant W1a;

Wartości zaprezentowane na rysunku 5.14 określają dystrybucję ruchu na poszczególne kierunki. W oparciu o tak przygotowane dane wejściowe wprowadzone do bazy programu VISSIM, po właściwym skalibrowaniu sieci drogowej dla poszczególnych wariantów, uwzględniającej ograniczenia w ruchu pojazdów ciężarowych na analizowanym obszarze, przeprowadzono odpowiednie eksperymenty symulacyjne (dla godziny szczytu porannego). Przykładowe wizualizacje z przebiegu procesu symulacji na wybranych węzłach przedstawiono na rysunku 5.15.



Rys. 5.15. Przykładowe wizualizacje przebiegu procesu mikrosymulacji na przykładzie skrzyżowań: a) ul. Królowej Jadwigi – Garbary – Droga Dębińska; b) Garbary – Estkowskiego

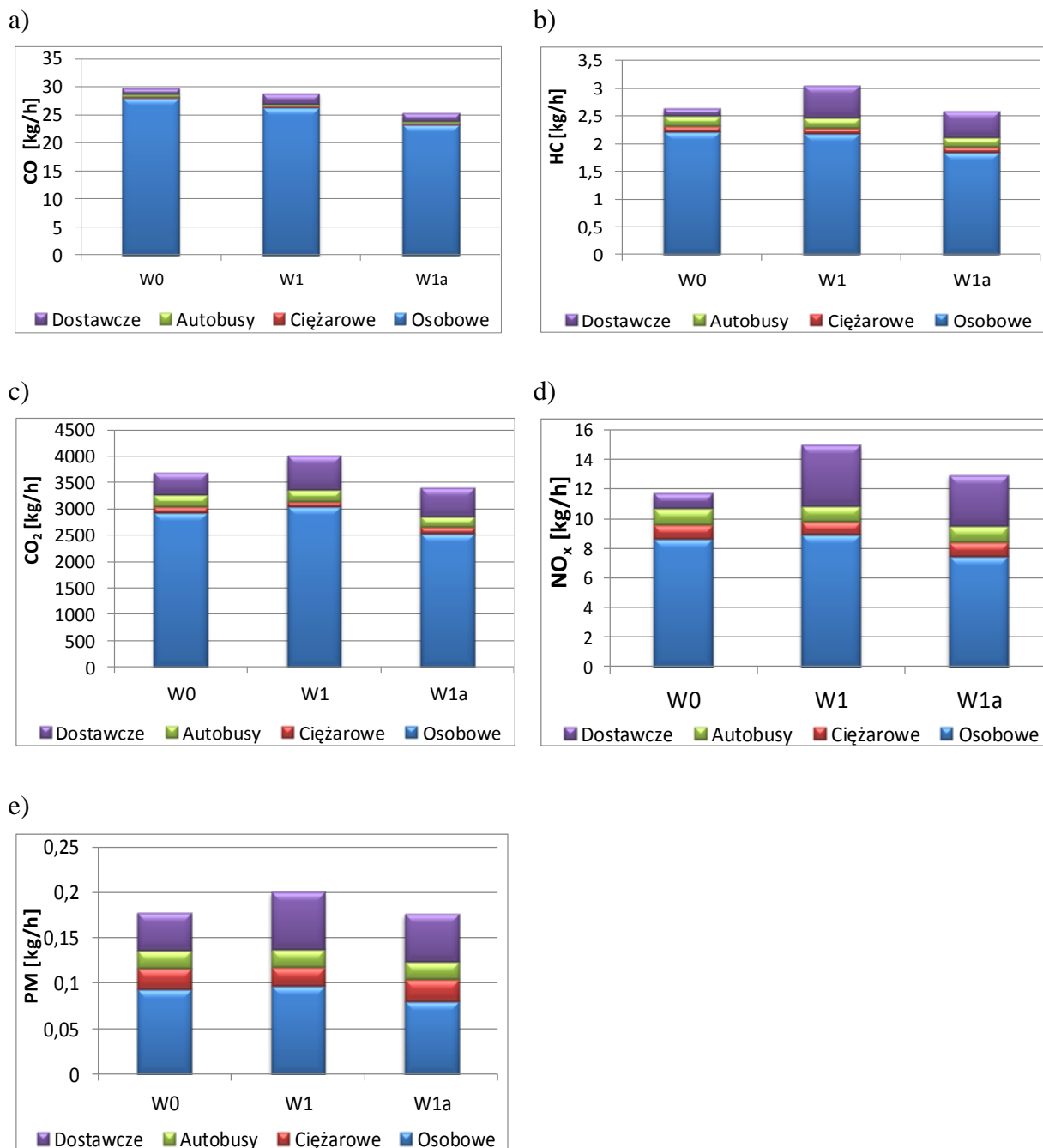
### 5.3.3. Wyniki i analiza przeprowadzonych eksperymentów symulacyjnych

Podczas przeprowadzonych eksperymentów symulacyjnych dokonano rejestracji parametrów pozwalających oceniać i porównywać warianty na dwóch płaszczyznach:

- I. warunków ruchu i emisji w całym analizowanym fragmencie sieci obejmującym ulice bezpośrednio przeznaczone pod pasy autobusowe oraz ulice do nich przyległe w zakresie następujących parametrów: emisja [kg/h] CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub>, PM, zużycie paliwa [kg/h], średnia prędkość [km/h] oraz średnie opóźnienie w przejeździe w stosunku do warunków idealnych [s],
- II. warunków ruchu i emisji wyłącznie na odcinkach bezpośrednio przeznaczonych pod wdrożenie bus-pasów w zakresie następujących parametrów: emisja [kg/h] CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub>, PM, zużycie paliwa [kg/h], średnia prędkość [km/h] oraz łączny czasu przejazdu [s].

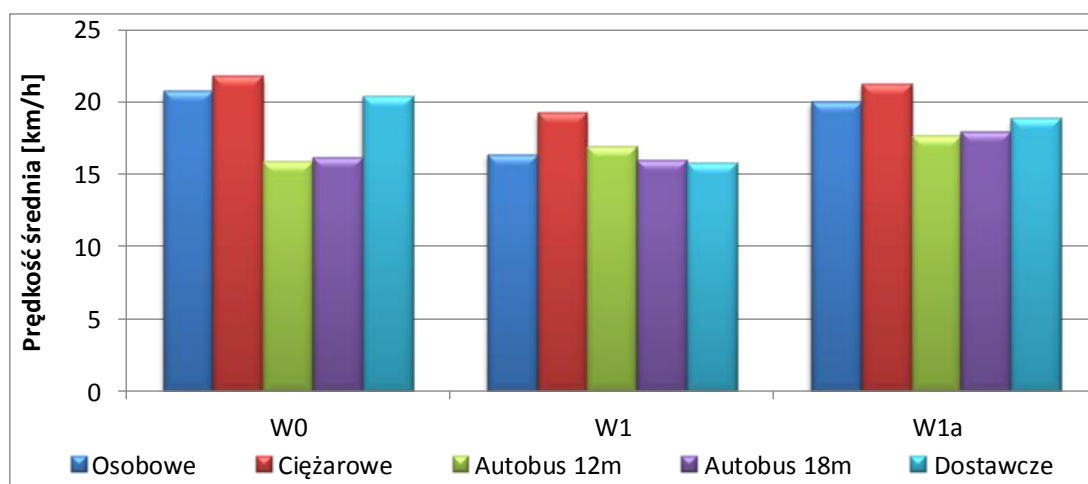
Analizując dane odnoszące się do całego analizowanego fragmentu sieci drogowej Poznania (określonych powyżej jako płaszczyzna I) w zakresie emisji oraz prędkości średniej, przedstawione odpowiednio na rys. 5.16 i 5.17, zauważyć należy, że największy udział w emisji do atmosfery toksycznych składników spalin oraz CO<sub>2</sub> mają samochody osobowe oraz dostawcze, co wynika bezpośrednio z ich największego udziału w strukturze rodzajowej pojazdów. Wskazać należy, że z ekologicznego punktu widzenia wdrożenie pasów autobusowych bez zmian w dystrybucji ruchu (W1) przynieść może negatywne skutki w postaci globalnie zwiększonego poziomu emisji, spadku średniej prędkości podróży oraz wzrostu średniego opóźnienia przejazdu. Ograniczenie przepustowości niemalże o połowę na odcinkach gdzie ustanowione zostają pasy autobusowe poprzez przeznaczenie pod nie jednego z pasów ruchu, przy jednoczesnej konieczności obsłużenia takiej samej liczby pojazdów powoduje, że sieć staje się niewydolna, co skutkuje w efekcie największym globalnym poziomem emisji i najniższą prędkością średnią spośród analizowanych wariantów.

W przypadku wariantu W1a widać, że w momencie naturalnej redystrybucji ruchu na inne odcinki wartości emisji, średniej prędkości oraz czasu przejazdu przez cały analizowany fragment sieci uległy nieznacznej poprawie w stosunku do stanu przed wdrożeniem pasów autobusowych. Jednocześnie analizując dane dla całej sieci miejskiej uzyskane z wykorzystaniem programu makrosymulacyjnego VISUM, można stwierdzić, że średnia prędkość pojazdów wewnątrz tzw. II ramy komunikacyjnej Poznania (stanowiącej obwodnicę śródmieścia zbudowanej z dwu- lub trzypasmowego układu drogowego) w przypadku wariantu W1a zmalała o ok. 0,46 km/h w stosunku do wariantu W0. W tym samym czasie praca przewozowa wykonywana wewnątrz obszaru centralnego Poznania (II rama komunikacyjna) w wyniku uruchomienia bus-pasów spadła o ok. 1000 pojazdokilometrów. Oznacza to, że część podróży w poszukiwaniu czasowo efektywniejszych ścieżek przejazdu przeniosła się poza obszar centrum.



Rys. 5.16. Sumaryczna emisja [kg/h] dla wybranych składników spalin:  
a) CO, b) HC, c) CO<sub>2</sub>, d) NO<sub>x</sub>, e) PM (płaszczyzna analizy I)

Stosunkowo wysoka wartość średniej prędkości pojazdów ciężarowych zaprezentowana na rys. 5.17 jest wynikiem ograniczeń w ruchu pojazdów o masie całkowitej powyżej 3,5 t obowiązujących na części analizowanego obszaru. Powoduje to sytuację, w której pojazdy ciężarowe nie przejeżdżają, w przeciwieństwie do pozostałych pojazdów, przez odcinki na których generowane są największe straty czasu, tj. ul. Mostową i ul. Garbary na odcinku od ul. Estkowskiego do ul. Królowej Jadwigi. Można dodać, że średnie opóźnienie w przeliczeniu na jeden autobus komunikacji miejskiej pomimo wdrożenia pasów autobusowych jest bardzo wysokie w szczególności w odniesieniu do autobusów 18 m. Sytuacja tak wynika z faktu, iż w ramach tego parametru uwzględniane są wszelkie zatrzymania, w tym również planowe zatrzymania na przystankach.



Rys. 5.17. Prędkość średnia pojazdów dla całego analizowanego fragmentu sieci (płaszczyzna analizy I)

W tabelach 5.3 i 5.4 zaprezentowane zostały porównawcze zestawienia wybranych parametrów dotyczących wyłącznie odcinków, na których planowane jest wdrożenie pasów autobusowych. Dane te, w zakresie emisji składników spalin oraz średniej prędkości przejazdu, wskazują, że wdrożenie pasów autobusowych z punktu widzenia pojazdów transportu zbiorowego przynosi pozytywne efekty. Działania te mogą m.in. skutkować niższymi kosztami eksploatacji systemu transportu zbiorowego oraz poprawą jakości życia. Pamiętać jednak należy, że największy udział w emisji mają w naturalny sposób samochody osobowe i na tym polu w dalszym ciągu jest jeszcze wiele do zrobienia w kierunku osiągnięcia zrównoważonego systemu transportowego.

Tab. 5.3. Zestawienie sumarycznej emisji toksycznych składników spalin poszczególnych kategorii pojazdów na ulicach przeznaczonych pod wdrożenie pasów autobusowych dla poszczególnych wariantów realizacji

		CO [kg/h]			HC [kg/h]			NOx [kg/h]			PM [kg/h]		
		W0	W1	W1a	W0	W1	W1a	W0	W1	W1a	W0	W1	W1a
Autobusy		0,211	0,203	0,195	0,095	0,091	0,087	0,578	0,533	0,524	0,010	0,009	0,009
Samoch. osobowe	ZI	10,211	7,563	5,713	0,788	0,603	0,444	2,517	2,107	1,452	0,000	0,000	0,000
	ZS	0,343	0,301	0,220	0,053	0,048	0,034	0,513	0,436	0,315	0,027	0,023	0,017
Samoch. dostawcze	ZI	0,274	0,190	0,157	0,019	0,013	0,011	0,097	0,067	0,058	0,000	0,000	0,000
	ZS	0,097	0,282	0,206	0,026	0,124	0,091	0,256	1,041	0,742	0,013	0,018	0,013
Samochody ciężarowe		0,039	0,028	0,030	0,015	0,012	0,011	0,141	0,118	0,118	0,003	0,002	0,003

Tab. 5.4. Zestawienie sumarycznej emisji CO<sub>2</sub> oraz prędkości średniej poszczególnych kategorii pojazdów na ulicach przeznaczonych pod wdrożenie pasów autobusowych dla poszczególnych wariantów realizacji

		Emisja CO <sub>2</sub> [kg/h]			Prędkość średnia [km/h]		
		W0	W1	W1a	W0	W1	W1a
Autobusy		117,720	110,389	107,913	14,4	15,2	15,6
Samochody osobowe	ZI	740,675	624,667	448,178	22,1	17,7	20,8
	ZS	179,674	154,77	113,943	22,3	17,5	21,0
Samochody dostawcze	ZI	39,516	32,145	24,171	21,9	18,4	21,1
	ZS	88,526	138,001	100,294	22,5	17,7	20,1
Samochody ciężarowe		18,023	13,864	14,002	25,8	15,6	17,1

Rezultaty przeprowadzonych eksperymentów symulacyjnych pokazują, że w wyniku wdrożenia pasów autobusowych na analizowanych odcinkach dróg, przy założeniu dążenia sieci transportowej do stanu równowagi (porównanie W0 i W1a) możliwe jest osiągnięcie następujących spadków emisji toksycznych składników spalin w godzinach szczytu komunikacyjnego na analizowanych odcinkach pasów autobusowych: CO o 4,7 kg/h, HC o 0,3 kg/h, NO<sub>x</sub> o 0,9 kg/h i PM o 0,011 kg/h oraz CO<sub>2</sub> na poziomie 370 kg/h.

W przypadku analizy danych dla całego analizowanego fragmentu sieci transportowej (odcinki z pasami autobusowymi oraz odcinki sąsiednie) różnica w wielkości emisji pomiędzy wariantem W0 i W1 jest następująca: spadek CO o 4,3 kg/h, HC o 0,06 kg/h, PM o 0,001 kg/h, CO<sub>2</sub> o 280 kg/h oraz wzrost NO<sub>x</sub> o 1,2 kg/h. W przypadku NO<sub>x</sub> wzrost wartości emisji generowany jest wyłącznie przez pojazdy ciężarowe i dostawcze i wynikać może ze zmiany płynności ruchu. Potwierdza to duże znaczenie warunków ruchu drogowego dla zanieczyszczenia powietrza generowanego przez pojazdy samochodowe.

## 5.4. Analiza poziomu emisji pojazdów na remontowanych obszarach w Poznaniu z uwzględnieniem różnych etapów przeprowadzanych inwestycji

### 5.4.1. Przebudowa Ronda Kaponiera

Węzeł Rondo Kaponiera to skrzyżowanie ulic Roosevelta z ulicą Św. Marcin oraz Zwierzyniecką (rys. 5.18). Jest to jedno z większych rond w całym mieście, dodatkowo zlokalizowane bardzo blisko ścisłego centrum. Skrzyżowanie to jest strategicznym punktem dla komunikacji indywidualnej oraz publicznej. W pobliżu ronda znajdują się Międzynarodowe Targi Poznańskie, dworzec PKP, wiele celów podróży pasażerów (miejsca pracy, uczelnie, miejsca rozrywki). Przebudowa ronda została podzielona na dwa etapy. Pierwszy z nich obejmował wykonanie prac wzdłuż ulicy Roosevelta między Mostem Dworcowym a rondem oraz włączenie ulicy Bukowskiej w ulicę Roosevelta. Drugi etap odbywał się na odcinku od Mostu Uniwersyteckiego do mostu Teatralnego.





Rys. 5.18. Schemat skrzyżowania Rondo Kaponiera

### Organizacja ruchu przed oraz w trakcie inwestycji

Przed rozpoczęciem remontu ruch na rondzie zorganizowany był w następujący sposób:

- na samym rondzie można było korzystać z trzech pasów ruchu,
- od strony zachodniej, wschodniej oraz południowej do ronda prowadziły 4 pasy ruchu: 2 do jazdy na wprost i po jednym do jazdy w lewo oraz w prawo,
- od strony północnej do ronda prowadziły 3 pasy ruchu – po jednym do jazdy na wprost, w lewo i w prawo,
- przez rondo we wszystkich kierunkach poprowadzone było torowisko tramwajowe,
- skrzyżowanie pokonywało 11 z 19 linii tramwajowych jakie jeżdżą w mieście oraz kilka linii autobusowych,
- ruch pieszych odbywał się przejściami podziemnymi,
- skrzyżowanie posiadało pełną sygnalizację świetlną dla ruchu kołowego oraz tramwajowego.

Schemat Ronda Kaponiera przed przebudową przedstawiony został na rysunku 5.19. Dodatkowo na rysunku 5.20 przedstawiono sieć przygotowaną w programie PTV VISSIM dla analiz w stanie przed przebudową.



Rys. 5.19. Schemat skrzyżowania Rondo Kaponiera przed remontem



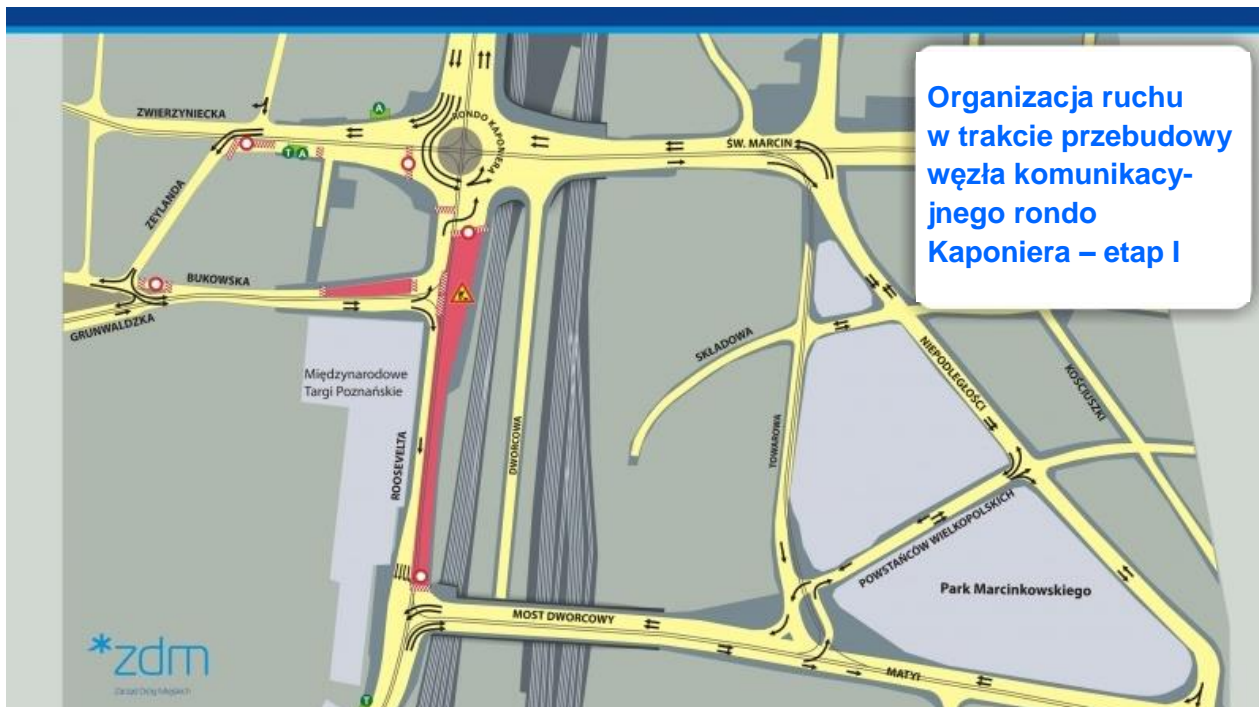
Rys. 5.20. Model Ronda Kaponiera z ulicami przyległymi dla analiz przed remontem

Podczas I-go etapu remontu ruch zorganizowano objazdami w następujący sposób:

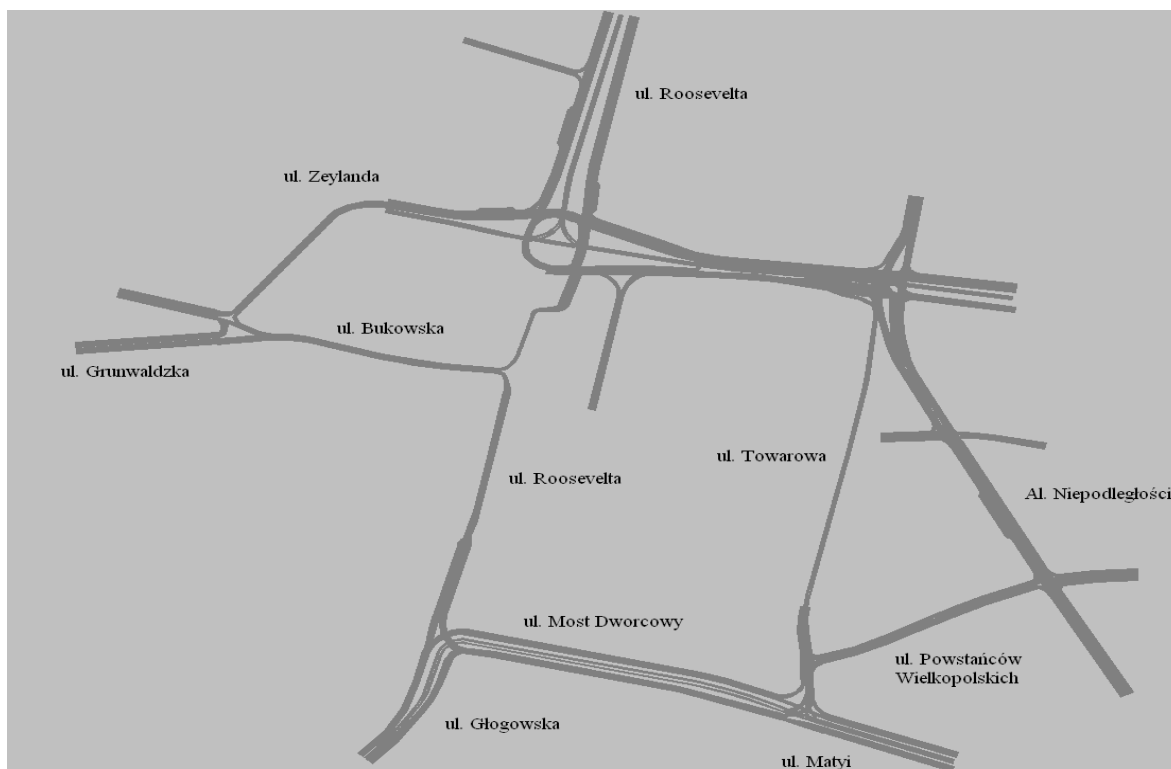
- wschodnia jezdnia wraz z chodnikiem i torowiskiem tramwajowym ulicy Roosevelta od mostu Dworcowego do ronda Kaponiera zostały zamknięte,
- północna jezdnia ulicy Bukowskiej od ulicy Roosevelta do hotelu Sheraton została wyłączona z ruchu,

- zamknięto południową jezdnię ulicy Zwierzynieckiej od ulicy Zeylanda do ronda Kaponiera,
- nie było możliwości wjazdu z ronda Kaponiera na zachodnią jezdnię ulicy Roosevelta na odcinku do ulicy Bukowskiej,
- ruch tramwajów przez skrzyżowanie odbywał się w kierunkach wschód – zachód i odwrotnie oraz z kierunku północnego na wschód i odwrotnie.

Organizacja ruchu w związku z I etapem przebudowy Ronda Kaponiera przedstawiona została na rys. 5.21. Dodatkowo na rys. 5.22 przedstawiono sieć przygotowaną w programie VISSIM dla analiz emisji w I etapie przebudowy.



Rys. 5.21. Organizacja ruchu na rondzie Kaponiera podczas I-go etapu remontu.



Rys. 5.22. Model sieci w programie VISSM dla analizy emisji w czasie I-go etapu remontu

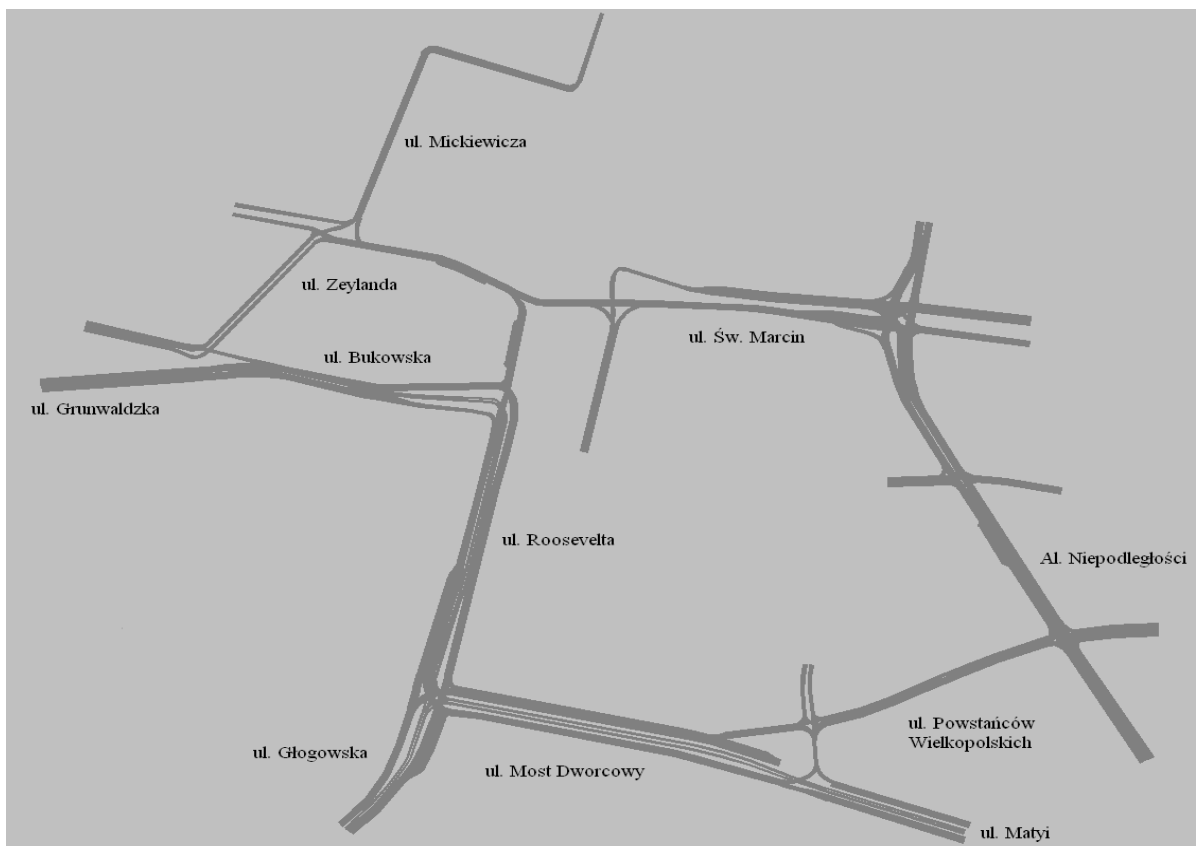
W czasie II-go etapu remontu ruch wokół ronda zorganizowano następująco:

- wschodnia jezdnia wraz z chodnikiem ulicy Roosevelta na odcinku od ulicy Bukowskiej do ulicy Święty Marcin i od ulicy Święty Marcin (mostu Uniwersyteckiego) do mostu Teatralnego została wyłączona z ruchu,
- dwa pasy ruchu zachodniej jezdni ulicy Roosevelta na odcinku od ulicy Dąbrowskiego do ulicy Słowackiego oraz cała zachodnia jezdnia ulicy Roosevelta między ulicami Słowackiego a Zwierzyniecką zostały zamknięte,
- zamknięto północną jezdnię ulicy Zwierzynieckiej na odcinku od ulicy Roosevelta (ronda Kaponiera) do ulicy Zeylanda,
- nie było możliwości bezpośredniego przejazdu przez rondo Kaponiera w relacji północ – południe oraz wschód – zachód,
- ruch tramwajowy przez skrzyżowanie został całkowicie zlikwidowany i zastąpiony komunikacją autobusową za tramwaj.

Organizacja ruchu w związku z II etapem przebudowy Ronda Kaponiera przedstawiona została na rys. 5.23. Dodatkowo na rys. 5.24 przedstawiono sieć przygotowaną w programie VISSIM dla analiz emisji w II etapie przebudowy.



Rys. 5.23. Organizacja ruchu na rondzie Kaponiera podczas II-go etapu remontu



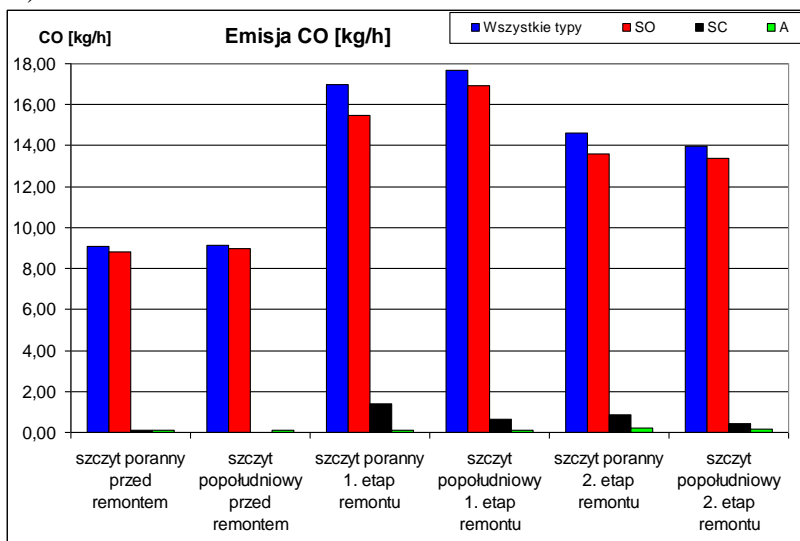
Rys. 5.24. Model sieci w programie VISSIM dla analizy emisji w czasie II-go etapu remontu

## Emisja globalna z pojazdów dla poszczególnych faz remontu

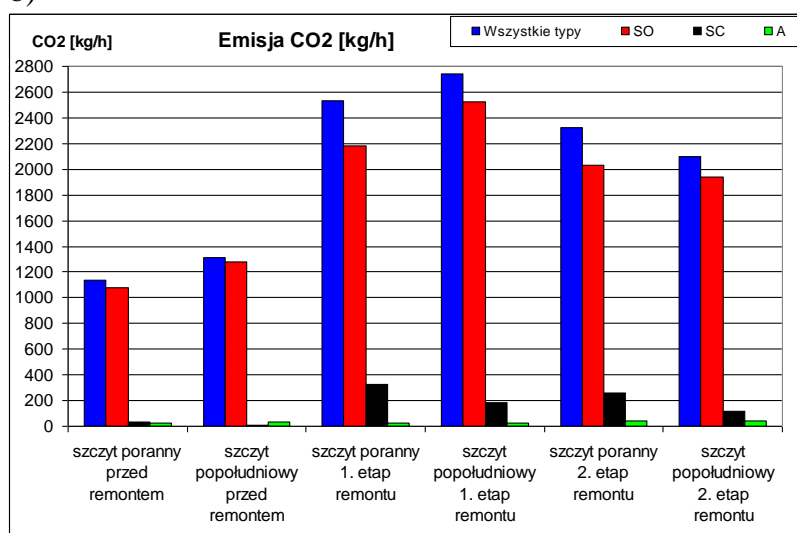
Analizy wykonane w związku ze zmianą organizacji ruchu w obrębie Ronda Kaponiera wykazały, że:

- dominującym typem pojazdu w sieci jest samochód osobowy (około 98% całości), pozostałe 2% to samochody ciężarowe i autobusy,
- zwiększona liczba samochodów ciężarowych w tym rejonie miasta spowodowana jest prowadzonymi remontami,
- emisja związków szkodliwych podczas prowadzenia remontów wzrasta kilkukrotnie w porównaniu z poziomem emisji odnotowanym przed remontami. Powoduje to jednak w znacznym stopniu fakt, iż wyniki otrzymane dla dwóch etapów remontu dotyczą bardziej rozbudowanej sieci dróg ze względu na wytyczone objazdy,
- emisja w głównej mierze zależy od ilości pojazdów – najczęściej poszczególnych związków emitują pojazdy osobowe, które stanowią zdecydowaną większość. Tylko w przypadku emisji cząstek stałych sytuacja wygląda inaczej – tutaj największy udział w emisji mają samochody ciężarowe, których jest zdecydowanie mniej niż samochodów osobowych (rys. 5.25),
- poziom emisji z autobusów komunikacji miejskiej pomimo zmiany organizacji ruchu i tras autobusów oraz wprowadzeniu dodatkowych linii zastępczych za tramwaj pozostaje na porównywalnym poziomie z odnotowanym przed remontem.

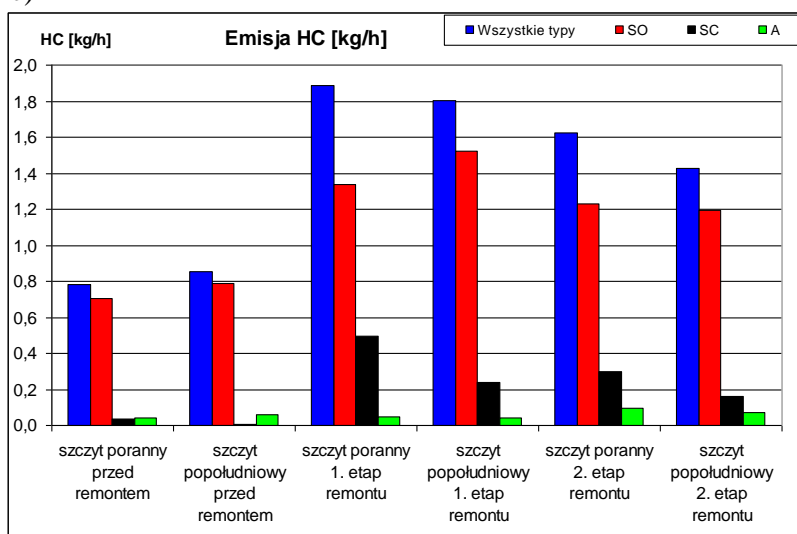
a)



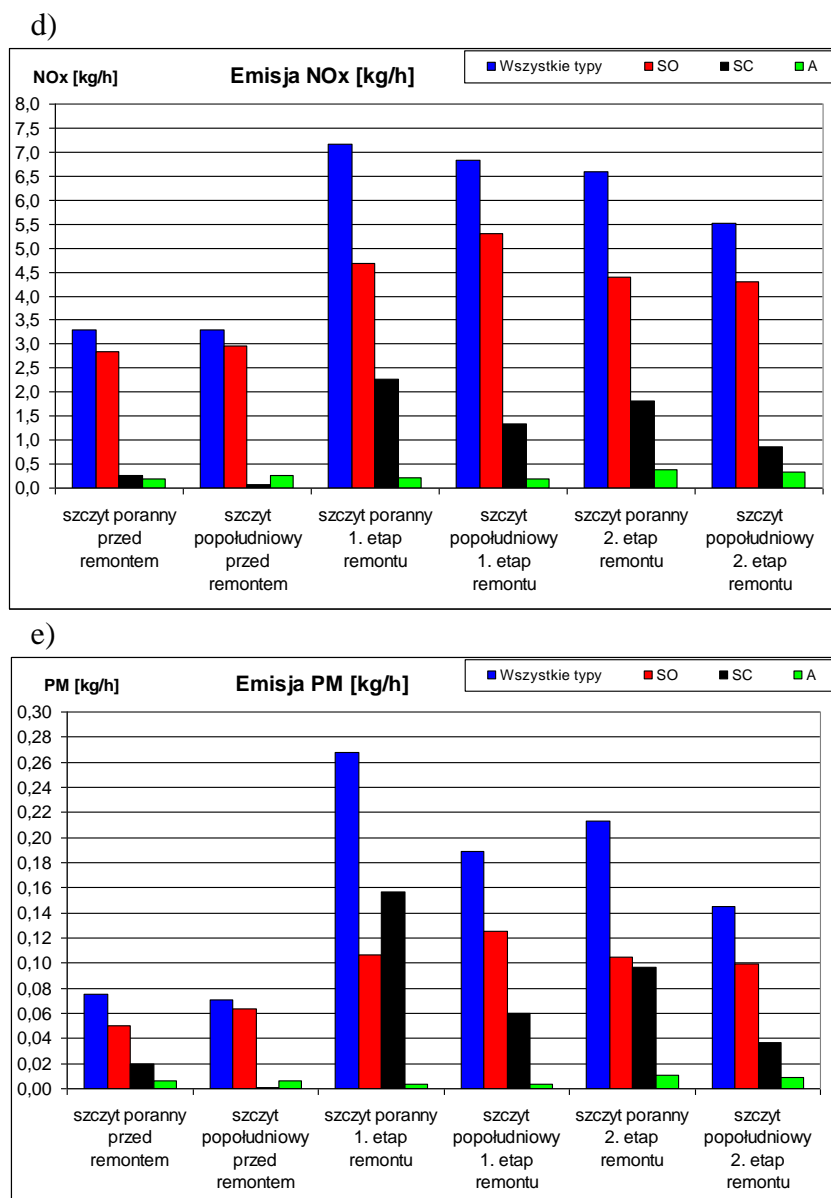
b)



c)







Rys. 5.25. Emisja globalna szkodliwych składników spalin pojazdów podczas poszczególnych etapów remontu; SO – samochody osobowe, SC – samochody ciężarowe, A - autobusy

### Emisja lokalna na Rondzie Kaponiera dla poszczególnych faz remontu

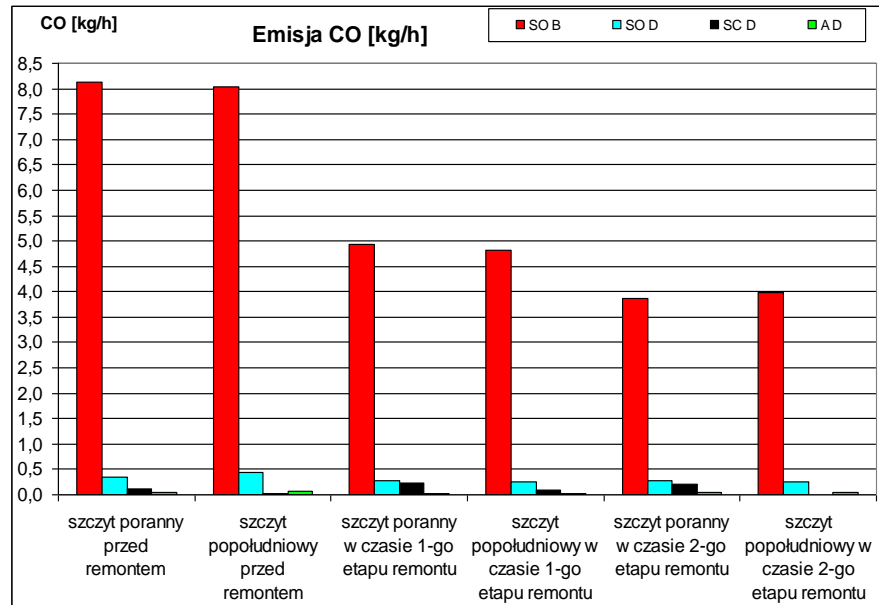
Wyznaczono także emisję lokalną obejmującą wyłącznie obszar samego Ronda Kaponiera. Otrzymane wyniki przedstawiono na rys. 5.26. Wynikają z nich następujące spostrzeżenia:

- emisja poszczególnych związków jest mniejsza podczas remontów, co spowodowane jest zmniejszeniem przepustowości skrzyżowania, a przez to mniejszym natężeniem ruchu pojazdów,
- emisja CO, CO<sub>2</sub>, HC oraz NO<sub>x</sub> w głównej mierze pochodzi z samochodów osobowych wyposażonych w silniki o zapłonie iskrowym,
- emisja PM pochodzi przede wszystkim z samochodów osobowych wyposażonych w silniki o zapłonie samoczynnym oraz samochodów ciężarowych,

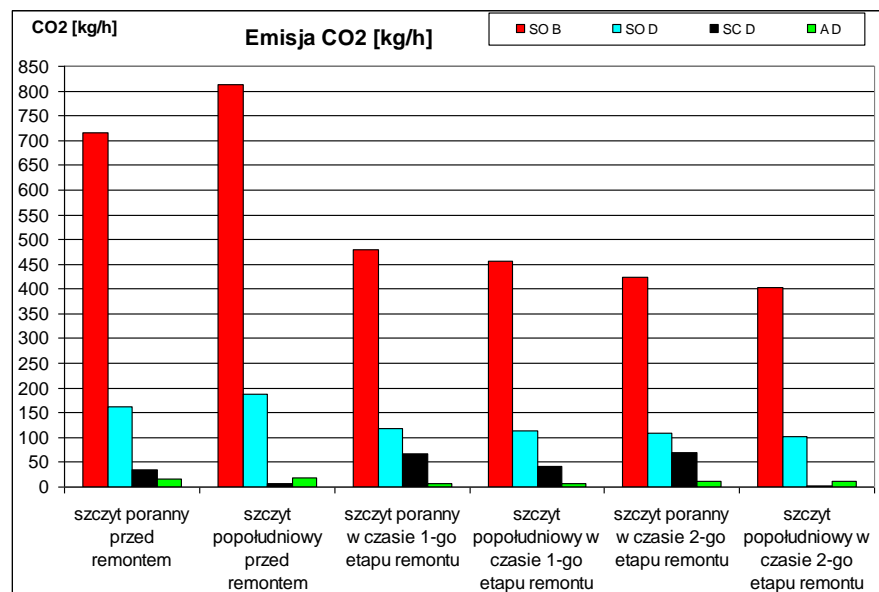


- samochody ciężarowe, które pojawiają się na skrzyżowaniu z racji prowadzonych robót emitują najwięcej szkodliwych związków w czasie I-go i II-go etapu remontu podczas szczytu porannego,
- poziom emisji z autobusów komunikacji miejskiej utrzymuje się na tym samym poziomie niezależnie od prowadzonych prac.

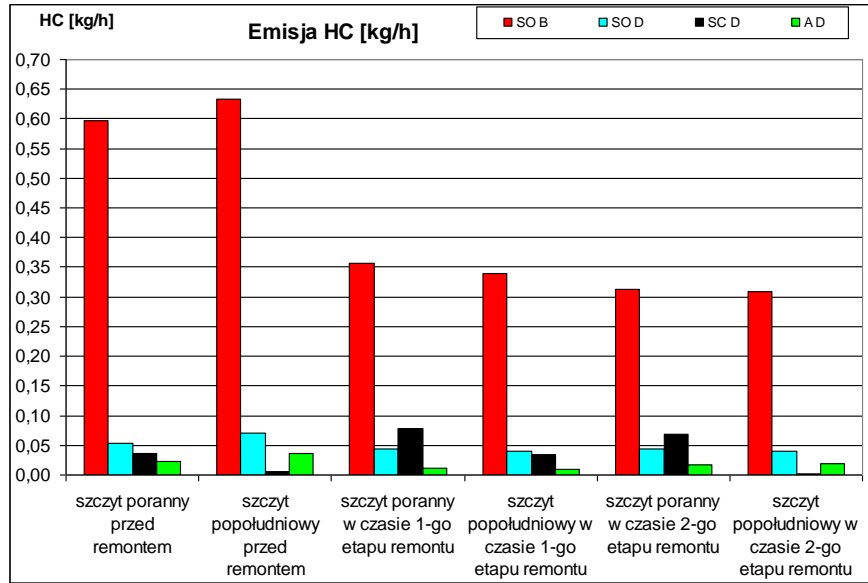
a)



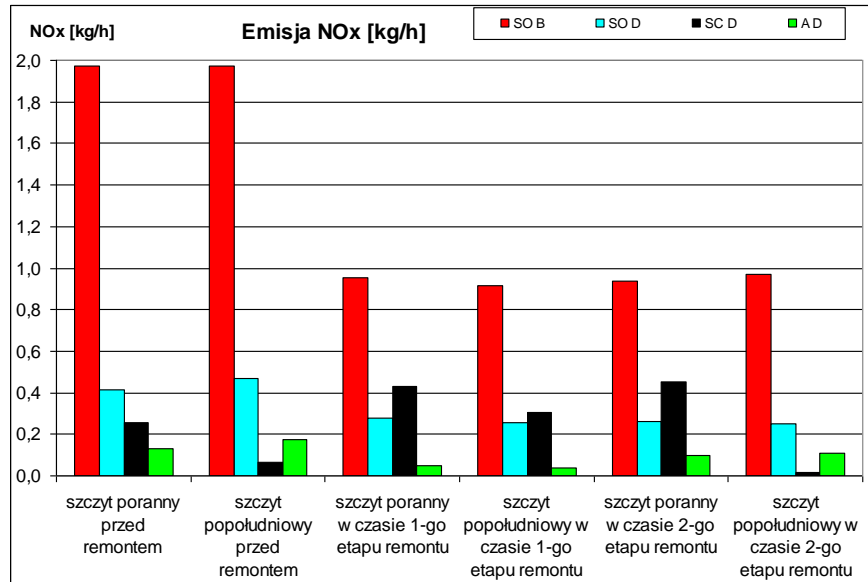
b)



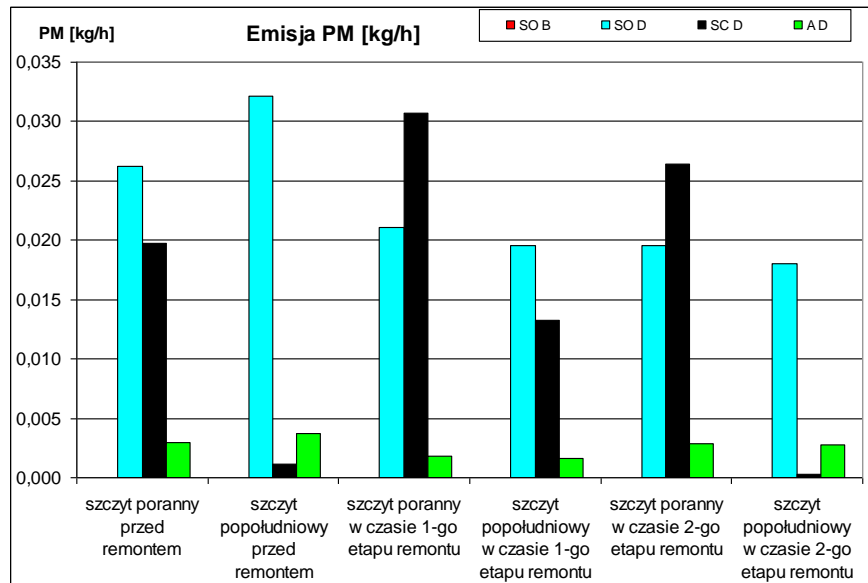
c)



d)



e)



Rys. 5.26. Emisja lokalna szkodliwych składników spalin na rondzie Kaponiera podczas poszczególnych etapów remontu; SO – samochody osobowe, SC – samochody ciężarowe, A – autobusy, D – silnik ZS, B – silnik ZI



### Organizacja ruchu przed, w trakcie oraz po zakończeniu inwestycji

Przed rozpoczęciem inwestycji związanej z przebudową ul. Grunwaldzkiej ruch kołowy, tramwajowy oraz pieszy odbywał się w następujący sposób:

- od ul. Bukowskiej do skrzyżowania z ul. Jawornicką kierowcy mieli do dyspozycji po dwa pasy ruchu w obydwu kierunkach jazdy,
- w pozostałej części ulica była drogą dwukierunkową jednopasmową,
- na większych skrzyżowaniach wydzielone były osobne pasy do skrętów w lewo, skręt w prawo był możliwy z prawego pasa służącego również do jazdy na wprost, skrzyżowania te były wyposażone w sygnalizację świetlną dla ruchu kołowego, pieszego oraz tramwajowego,
- mniejsze skrzyżowania wyposażono tylko w dodatkowe pasy do skrętu w lewo lub w prawo, bez sygnalizacji świetlnej,
- ruch tramwajowy odbywał się po torowisku oddzielnym od jezdni – tylko na odcinku od ul. Bukowskiej do skrzyżowania ul. Grunwaldzkiej z ul. Matejki torowisko było wydzielone z jezdni,
- torowisko przebiegało między jezdniami na odcinku od ul. Bukowskiej do skrzyżowania z ul. Jawornicką, w dalszej części było zlokalizowane na północ od ul. Grunwaldzkiej i biegło równoległe do niej,
- ruch pieszych na całej długości ul. Grunwaldzkiej odbywał się po przejściach dla pieszych.

Po rozpoczęciu kilkietapowego remontu następującym zmianom uległ ruch kołowy oraz tramwajowy:

- na odcinkach dwupasmowych do poruszania się pojazdami służył jeden pas ruchu w każdą stronę,
- na odcinkach jednopasmowych ruch pojazdów odbywał się wyznaczonymi objazdami,
- w związku z przebudową torowiska etapowo likwidowano ruch tramwajowy,
- pasażerowie komunikacji miejskiej zamiast tramwajami mogli podróżować autobusami za tramwaj kursującymi wzdłuż remontowanego torowiska,
- na skrzyżowaniu ul. Grunwaldzkiej i Jawornickiej ruch kołowy odbywał się wytyczonymi objazdami zlokalizowanymi na północ od skrzyżowania w celu umożliwienia prac związanych z budową wiaduktu w tym miejscu.

Po zakończeniu remontu przywrócono ruch kołowy oraz tramwajowy. Zmianom konstrukcyjnym uległa większość skrzyżowań zlokalizowanych przy ul. Grunwaldzkiej. Zostały one wyposażone w dodatkowe pasy do skrętu w prawo czy w lewo oraz nowe sygnalizacje świetlne. Ruch kołowy odbywa się po dwupasmowych jezdniami w obydwu kierunkach ruchu, co poprawiło przepustowość badanego odcinka oraz płynność przejazdu ul. Grunwaldzką.

### Emisja globalna z pojazdów dla poszczególnych faz remontu

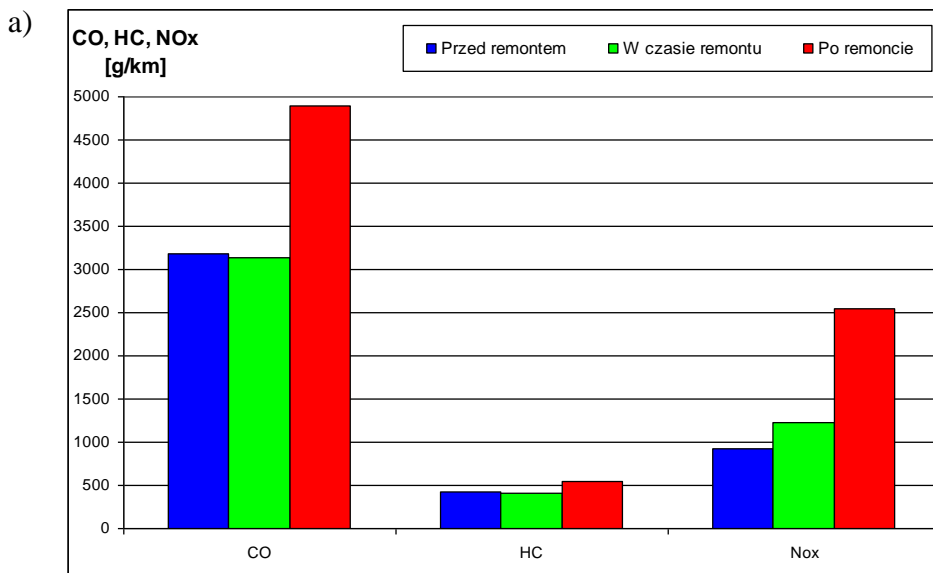
Analizy emisji dotyczące przebudowy ul. Grunwaldzkiej wykonano przy wykorzystaniu makroskopowego modelu ruchu zaimplementowanego w programie PTV VISUM. Uzyskane wyniki przedstawiono w postaci tabelarycznej (tab. 5.5) oraz na rys. 5.28. Wyniki w tabeli dotyczą średniej emisji godzinowej w całej sieci wyznaczonej poprzez zsumowanie poszczególnych wartości z odcinków i podzielenie otrzymanej sumy przez ilość odcinków. Pozwoliło to na uzyskanie średniej wartości emisji dla całej sieci. Pomimo różnorodności

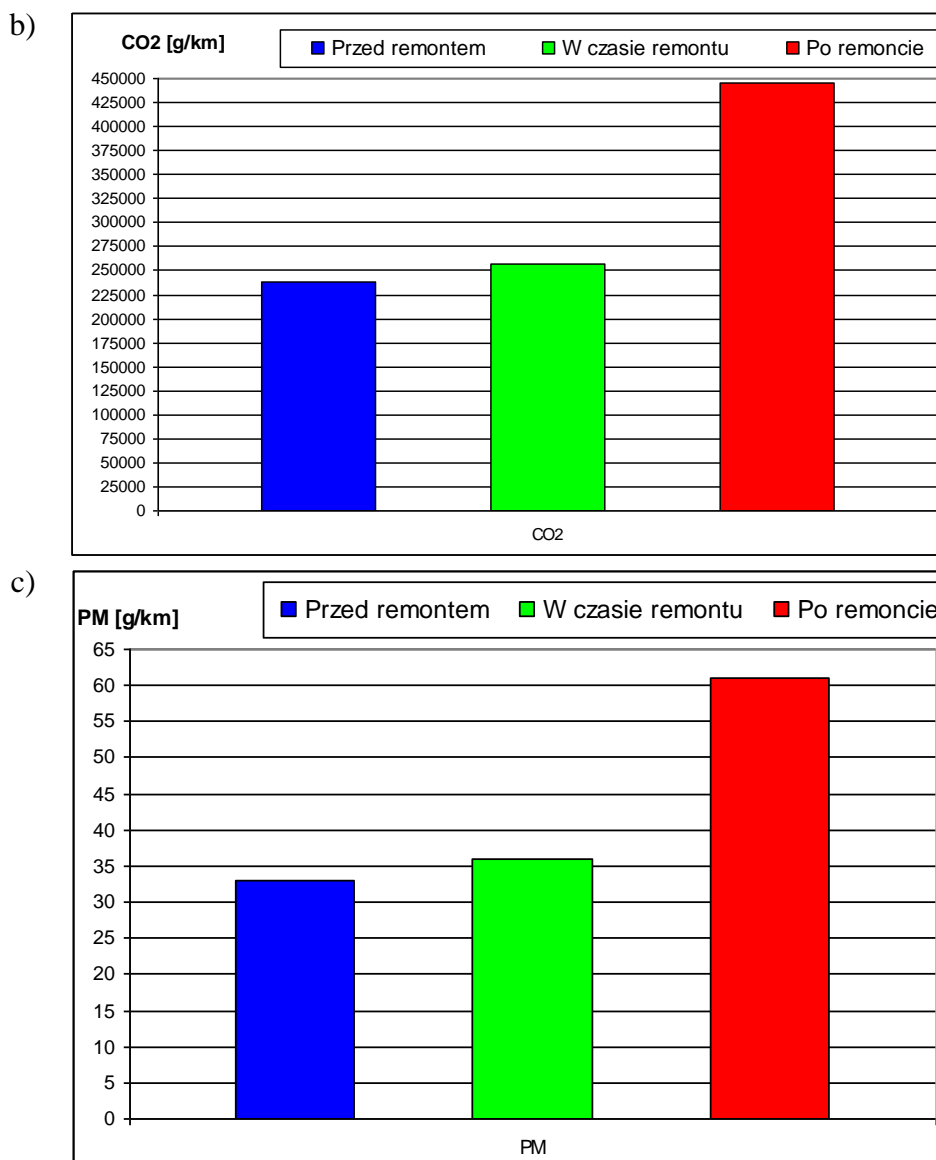
odcinków program wyznacza wartości emisji w przeliczeniu na jeden kilometr. Po przeanalizowaniu wyników można stwierdzić, iż:

- przepustowość sieci zależy od fazy wykonywanego remontu,
- pomimo blisko dwukrotnego spadku przepustowości sieci podczas remontu emisja poszczególnych związków jest na takim samym poziomie jak przed jego rozpoczęciem,
- po przebudowie sieci jej przepustowość wzrosła o blisko 50% w porównaniu ze stanem sprzed remontu. Wartość emisji CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i PM zwiększyła się adekwatnie do ilości pojazdów. Dla pozostałych dwóch związków pomimo 50-cio procentowego przyrostu liczby pojazdów wartości emisji wzrosły o 35% dla CO i 24% dla HC.

Tab. 5.5. Emisja poszczególnych szkodliwych składników spalin w ciągu ul. Grunwaldzkiej

<b>Etap remontu</b>	<b>Liczba pojazdów</b>	<b>CO [g/(km·h)]</b>	<b>CO<sub>2</sub> [g/(km·h)]</b>	<b>HC [g/(km·h)]</b>	<b>NO<sub>x</sub> [g/(km·h)]</b>	<b>PM [g/(km·h)]</b>
Przed remontem	4010	3186	238359	418	921	33
W czasie remontu	2020	3135	256211	408	1230	36
Po remoncie	5946	4899	445541	552	2551	61



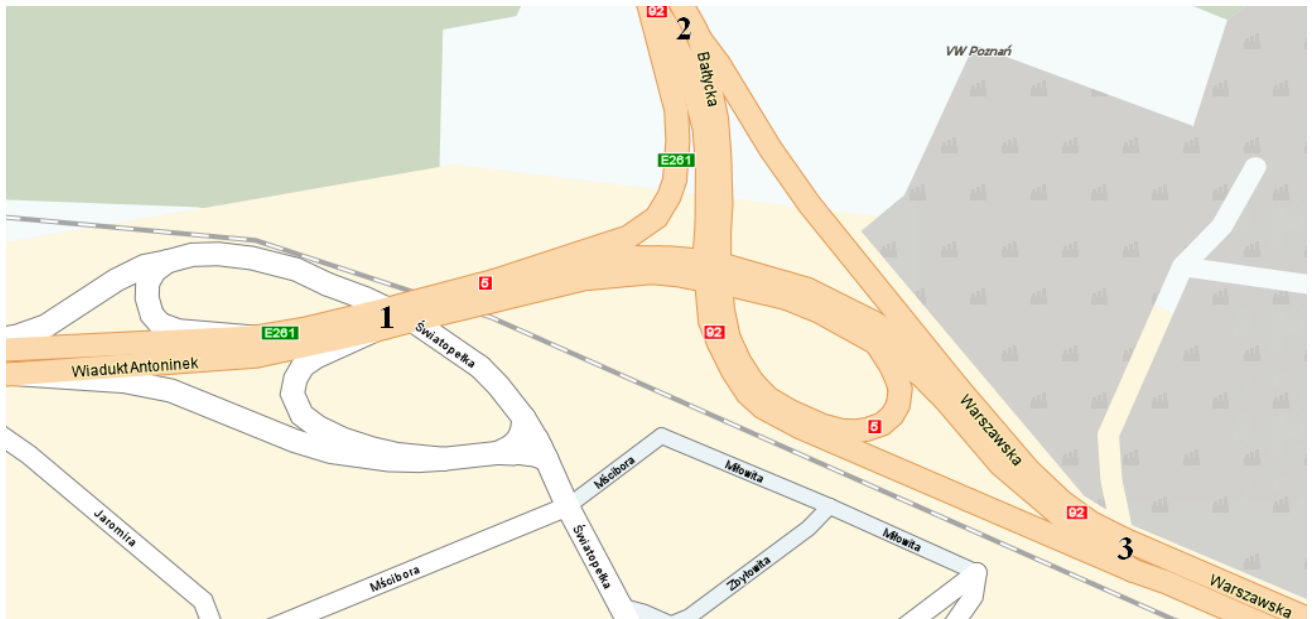


Rys. 5.28. Emisja godzinowa dla poszczególnych etapów przebudowy ul. Grunwaldzkiej

### 5.4.3. Przebudowa węzła Antoninek

Kolejną analizowaną inwestycją jest przebudowa węzła drogowego Antoninek. Głównym powodem inwestycji był zły stan techniczny obiektu. Po rozbiórce obiektu i wybudowaniu go na nowo układ komunikacyjny w tej części miasta uległ zmianie. Zamiast jednego obiektu inżynierskiego wybudowane zostały trzy nowe. Pierwszy z nich mieści się nad torami kolejowymi magistrali E20, drugi nad łącznicą prowadzącą w stronę ulicy Bałtyckiej. Trzeci obiekt to estakada nad ulicą Warszawską, którą jeżdżą pojazdy kierujące się z Poznania w stronę obwodnicy miasta.

Węzeł Antoninek (rys. 5.29) odgrywa ważną rolę w obsłudze transportowej wschodniej części miasta. Codziennie przejeżdża przez niego duża liczba pojazdów we wszystkich możliwych kierunkach. Skrzyżowanie jest połączeniem międzynarodowego szlaku transportowego E261 z drogą krajową nr 92 – powoduje to wzmożony ruch pojazdów ciężarowych w tym rejonie.



Rys. 5.29. Schemat węzła Antoninek

### Organizacja ruchu przed, w trakcie oraz po zakończeniu inwestycji

Ruch kołowy przepływający przez węzeł Antoninek (rys. 5.30) przed remontem zorganizowany był w następujący sposób:

- od strony północnej kierowcy mieli do dyspozycji 3 pasy ruchu: jeden prowadzący do centrum miasta i na południową część węzła (do Antoninka) oraz dwa, które prowadziły na wschodnią część (do Swarzędza),
- od strony południowej kierowcy poruszali się dwoma pasami ruchu: pierwszy prowadził do centrum miasta, drugi do Swarzędza i na ul. Bałtycką (obwodnica miasta),
- od strony zachodniej (centrum miasta) ruch odbywał się po dwóch pasach ruchu prowadzących we wszystkich możliwych kierunkach,
- od strony wschodniej (Swarzędz) kierowcy korzystali z trzech pasów: 2 prowadziły do centrum i do Antoninka, 1 na obwodnicę miasta,
- przez węzeł poprowadzone były trasy dwóch linii autobusowych MPK oraz pięciu linii podmiejskich przewoźnika ze Swarzędza,
- węzeł pozbawiony był ruchu pieszego.





Rys. 5.30. Schemat skrzyżowania węzeł Antoninek przed remontem

Podczas prowadzonego remontu, podzielonego na kilka etapów, wprowadzono następujące zmiany w organizacji ruchu:

- zamknięcie zachodniej części wiaduktu i kierowanie całego ruchu na odcinek wschodni; pojazdy poruszały się po jednej nitce wiaduktu ruchem dwukierunkowym po drogach jednopasmowych,
- zamknięcie wschodniej części wiaduktu i skierowanie ruchu kołowego na nowowyzbudowaną część zachodnią; pojazdy poruszały się po jednej nitce wiaduktu ruchem dwukierunkowym po drogach jednopasmowych (rys. 5.31),
- zmiana tras wszystkich linii autobusowych przebiegających przez węzeł zgodnie z wytyczonymi objazdami.



Rys. 5.31. Schemat skrzyżowania węzeł Antoninek podczas remontu



Po zakończonym remoncie ruch na węźle został w pełni przywrócony i wygląda następująco (rys. 5.32):

- od strony północnej i zachodniej ruch odbywa się w taki sam sposób jak przed remontem,
- od strony południowej do węzła ruch doprowadzony jest jednym pasem ruchu i rozprowadzany na różne kierunki przy pomocy skrzyżowania o ruchu okrężnym zlokalizowanego przed węzłem,
- od strony wschodniej kierowcy mają do dyspozycji 4 pasy ruchu: 2 prowadzące do centrum i do Antoninka oraz dwa kierujące pojazdy na obwodnicę miasta,
- węzeł nadal pozbawiony jest ruchu pieszego,
- trasy wszystkich linii autobusowych posiadają pierwotny przebieg.



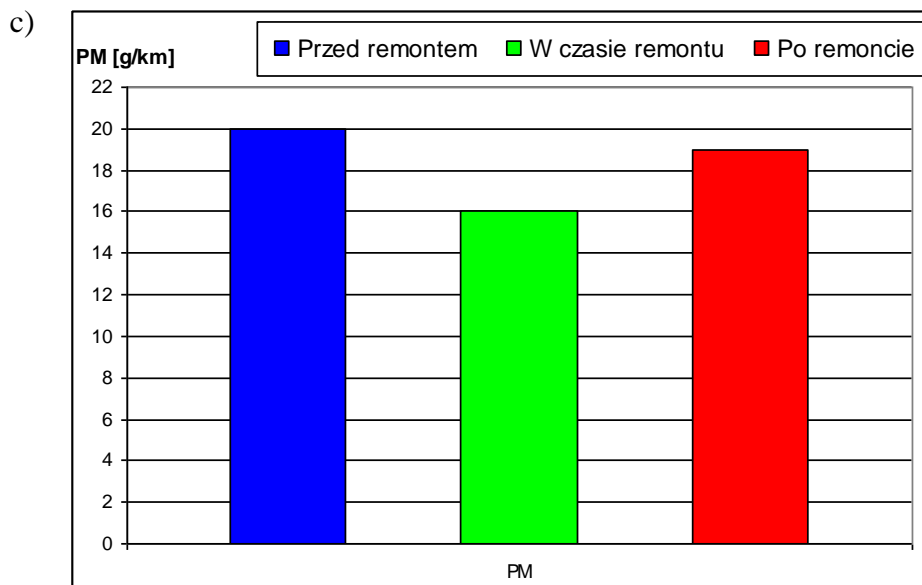
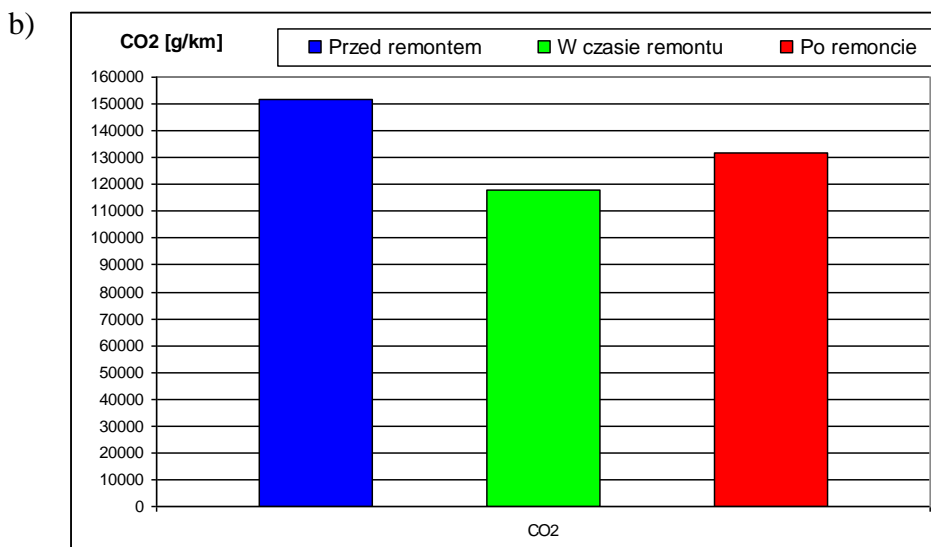
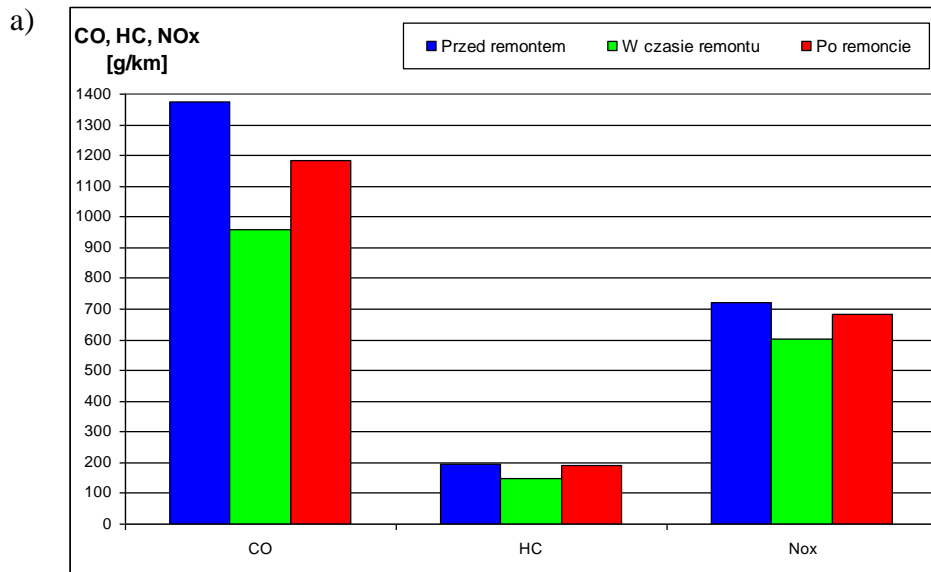
Rys. 5.32. Schemat skrzyżowania węzeł Antoninek po remoncie

### Emisja globalna z pojazdów dla poszczególnych faz remontu

Wartości emisji oraz liczba pojazdów zostały wyznaczone w taki sam sposób jak w przypadku analizy dla ul. Grunwaldzkiej i przedstawiono je w tabeli 5.6 oraz na rysunku 5.33.

Tab. 5.6. Emisja poszczególnych szkodliwych składników spalin na węźle Antoninek

<b>Etap remontu</b>	<b>Liczba pojazdów</b>	<b>CO [g/(km·h)]</b>	<b>CO<sub>2</sub> [g/(km·h)]</b>	<b>HC [g/(km·h)]</b>	<b>NO<sub>x</sub> [g/(km·h)]</b>	<b>PM [g/(km·h)]</b>
<b>Przed remontem</b>	3068	1373	151750	197	720	20
<b>W czasie remontu</b>	1624	960	117666	149	601	16
<b>Po remoncie</b>	4368	1182	131818	193	682	19



Rys. 5.33. Emisja godzinowa dla poszczególnych etapów przebudowy węzła Antoninek

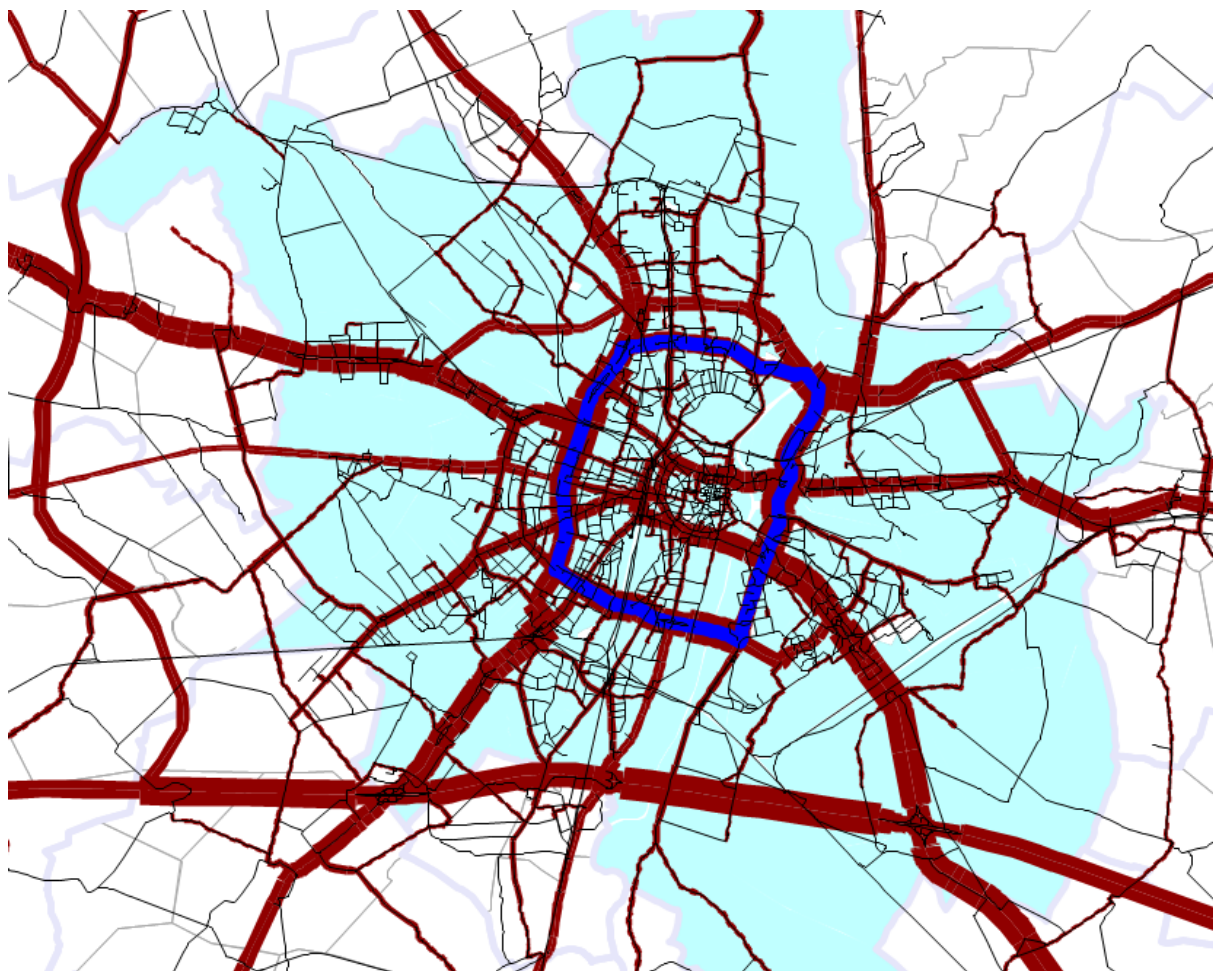
Uzyskane wyniki wskazują, że:

- przepustowość całego węzła i jego okolic jest uzależniona od etapu remontu – maleje o 47% podczas przeprowadzania remontu i wzrasta o 42% po jego zakończeniu w odniesieniu do przepustowości początkowej odnotowanej przed rozpoczęciem remontu,
- pomimo spadku przepustowości sieci o blisko 50% podczas remontu emisje poszczególnych związków maleją tylko o:
  - 30% dla CO,
  - 22% dla CO<sub>2</sub>,
  - 24% dla HC,
  - 17% dla NO<sub>x</sub>,
  - 20% dla PM,
- po zakończeniu remontu pomimo wzrostu przepustowości sieci o 42% odnotowano spadek wartości emisji. Zmniejszenie emisji waha się w granicach od kilku do kilkunastu procent w zależności od rozpatrywanego związku.

## **5.5. Analiza korzyści z wprowadzenia strefy środowiskowej w Poznaniu**

### **5.5.1. Przyjęte założenia**

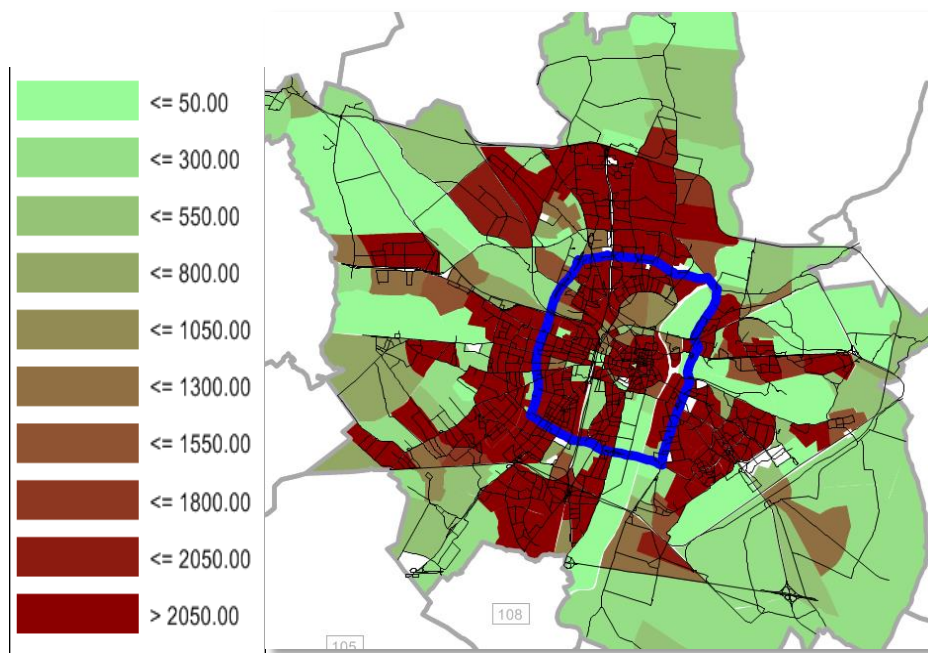
Pierwszym etap analizy polegał na doborze obszaru na terenie miasta, dla którego prowadzone będą eksperymenty symulacyjne. Przyjęto, że działania te w pierwszej kolejności powinny objąć obszar wewnątrz tzw. II ramy komunikacyjnej, z wyłączeniem ulic stanowiących ramę. Na rys. 5.34 niebieskim kolorem wyznaczono granice wybranego obszaru. Ponadto rysunek ten przedstawia wstęgi odzwierciedlające dobowe obciążenie odcinków sieci drogowej Poznania.



Rys. 5.34. Graficzne odzwierciedlenie obciążenia sieci drogowej Poznania z wyróżnionymi granicami obszaru analizy

Powierzchnia analizowanej strefy wynosi 21,1 km<sup>2</sup>, co stanowi ok. 8% powierzchni całego miasta. Obszar ten zamieszkuje ok. 170 tys. osób, co stanowi 31,1% ludności Poznania. Na rys. 5.35 zaprezentowano gęstość zaludnienia w Poznaniu z zaznaczonymi granicami obszaru poddanego analizie. Ponadto w strefie zlokalizowanych jest 38% spośród wszystkich miejsc pracy w Poznaniu.

W analizowanym obszarze strefy w ciągu doby generowanych jest ok. 350 tys. podróży (ok. 39% podróży generowanych na terenie miasta). W tym samym czasie w strefie pojazdy samochodowe wykonują ok. 700 000 poj.km (ok. 12% poj.km realizowanych na terenie Poznania).



Rys. 5.35. Gęstość zaludnienia w Poznaniu (osób/km<sup>2</sup>)

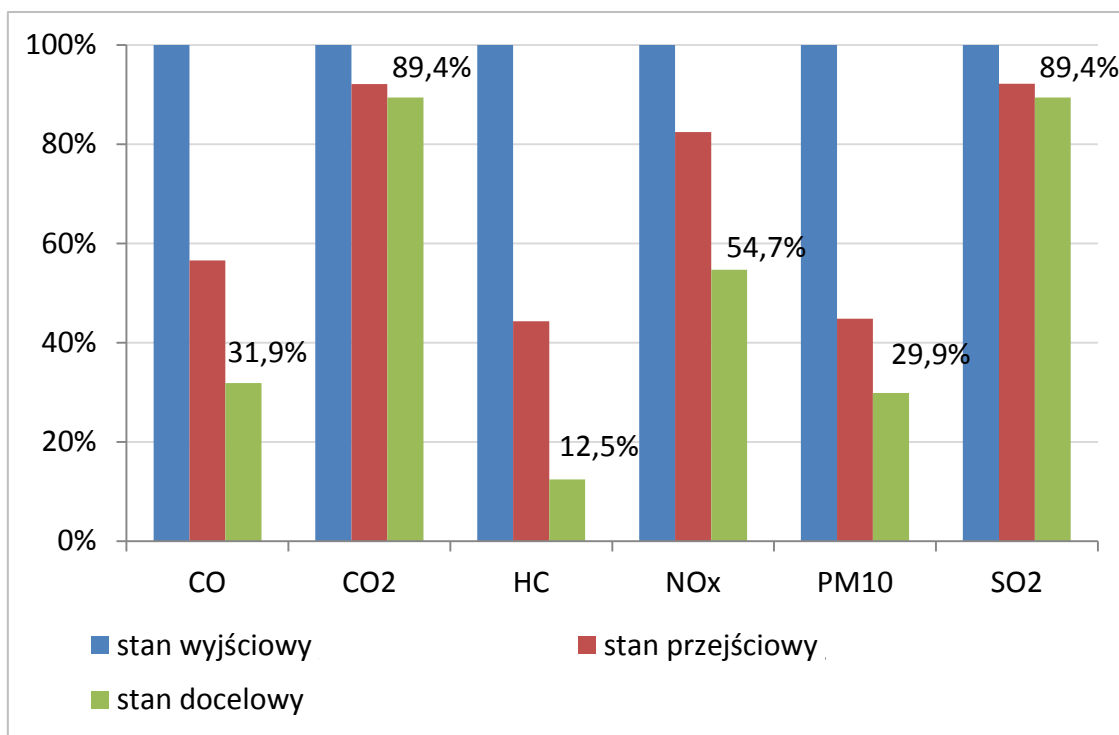
Przyjęto, że strefa będzie wdrażana dwufazowo:

- a) W fazie pośredniej założono, że wjazd dozwolony jest dla pojazdów spełniających min. normę emisji EURO 3 w przypadku pojazdów z silnikiem ZS oraz minimum normę emisji EURO 1 w przypadku pojazdów z silnikiem ZI.
- b) W fazie docelowej założono, że wjazd dozwolony będzie dla pojazdów spełniających min. normę emisji EURO 4 dla pojazdów z silnikiem ZS oraz minimum normę emisji EURO 3 dla pojazdów z silnikiem ZI.

Powyższe założenia dotyczyły zarówno pojazdów osobowych, dostawczych jak i ciężarowych.

### 5.5.2. Wyniki badań i ich analiza

Zmiany poziomów zanieczyszczeń wewnątrz zaprojektowanej strefy niskiej emisji, wyznaczone na podstawie przeprowadzonych eksperymentów symulacyjnych przedstawione zostały na rys. 5.36.



Rys. 5.36. Zmiany poziomu emisji wewnątrz planowanej strefy środowiskowej dla analizowanych składników w poszczególnych etapach wdrożenia

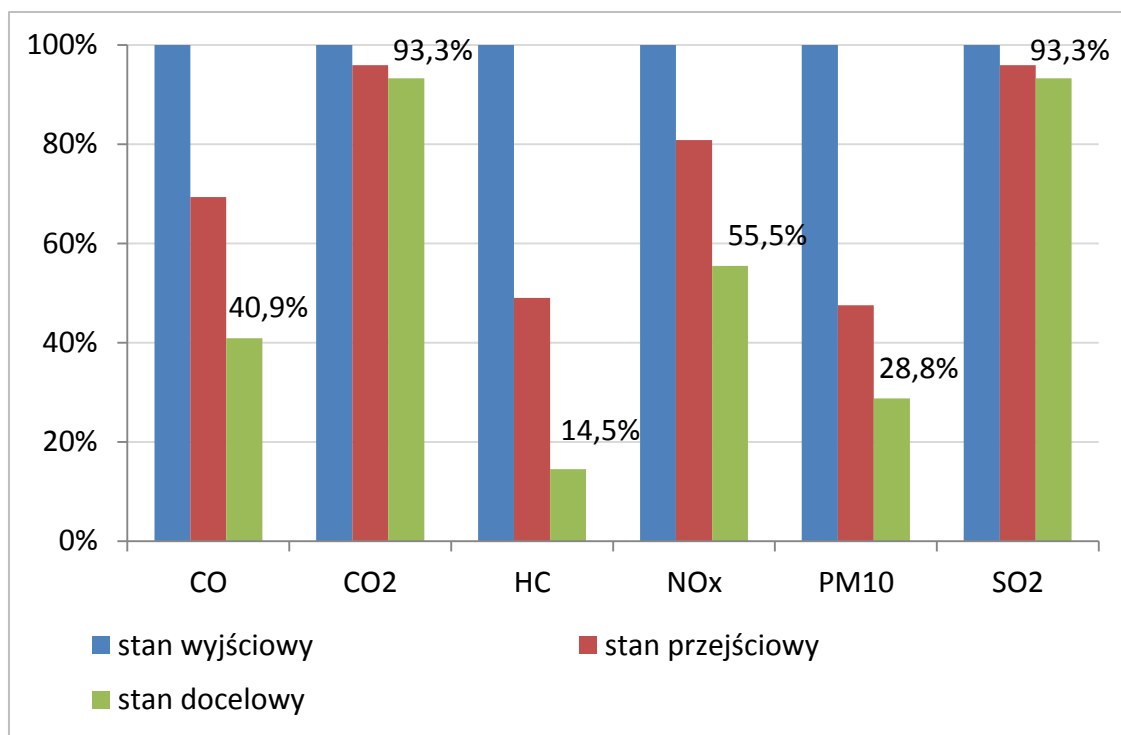
Zauważyć należy, że największy procentowy spadek odnotowano dla HC:

- w wariantcie przejściowym – 55,7%,
- w wariantcie docelowym – 87,5%.

Najmniejszy procentowy spadek odnotowano dla SO<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub>:

- w wariantcie przejściowym – 7,9%
- w wariantcie docelowym – 10,6%.

Zmiany struktury pojazdów spowodowane ograniczeniami w analizowanej strefie mają również wpływ na wartości emisji w odniesieniu do obszaru całego miasta. Zmiany poziomu emisji analizowanych składników dla obszaru Poznania przedstawiono na rys. 5.37.



Rys. 5.37. Zmiany poziomu emisji na obszarze Poznania dla analizowanych składników w poszczególnych etapach wdrożenia

Największy procentowy spadek odnotowano dla HC:

- w wariancie przejściowym – 51,0%,
- w wariancie docelowym – 85,5%.

Najmniejszy procentowy spadek odnotowano dla SO<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub>:

- w wariancie przejściowym – 4,1%,
- w wariancie docelowym – 6,7%.

W tabeli 5.7 przedstawiono zmianę zużycia paliwa w analizowanych fazach zarówno dla obszaru analizy jak i miasta w odniesieniu do stanu wyjściowego.

Tab. 5.7. Zmiany w zużyciu paliwa pojazdów wskutek wprowadzenia strefy środowiskowej

	Faza przejściowa		Faza docelowa	
	Obszar	Miasto	Obszar	Miasto
<b>Zużycie całkowite</b>	-8%	-4%	-11%	-7%
<b>Olej napędowy</b>	-14%	-7%	-14%	-8%
<b>Benzyna</b>	-4%	-1%	-9%	-5%

Za danych tabeli 5.7 zauważyć można, że wyniki otrzymywane dla obszaru strefy są lepsze niż dla obszaru całego miasta, co potwierdzało przyjęte założenia dot. dopuszczenia na obszarze strefy wyłącznie pojazdów spełniających określone standardy emisji. W każdym przypadku wprowadzane zmiany prowadziły do oszczędności w zużyciu paliwa.



## 6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych studiów i badań sformułowano następujące wnioski i spostrzeżenia:

- Przeprowadzone w ramach pracy badania symulacyjne wpływu organizacji ruchu drogowego na poziom emitowanych zanieczyszczeń przez uczestniczące w nim pojazdy dostarczyły bardzo istotnych informacji, w zasadzie niemożliwych do uzyskania w inny sposób. Przyjęte w pracy podejście badawcze wypełnia lukę badawczą w zakresie połączenia modelowania i symulacji ruchu drogowego z analizą oddziaływania tego ruchu na poziom zanieczyszczenia środowiska naturalnego w oparciu o pomiary rzeczywiste (*Real Drive Emissions* – RDE). Co bardzo ważne, uzyskane wyniki mają duże znaczenie praktyczne, a także są przyczynkiem do prowadzenia podobnych analiz dla innych obiektów i obszarów.
- Przyjęte w pracy rozwiązanie daje możliwość oszacowania potencjalnego wpływu parametrów ruchu drogowego na środowisko naturalne na różnych poziomach szczegółowości, w zależności od przyjętych założeń i zdefiniowanych scenariuszy. Umożliwia to kształtowanie organizacji ruchu na określonym obszarze miasta czy aglomeracji, a także w odniesieniu do działań punktowych skupiających się w obszarze pojedynczych węzłów i skrzyżowań oraz liniowych zorientowanych na wydzielone ciągi uliczne. Ma to celu minimalizację negatywnego oddziaływania na środowisko oraz określanie skutków proponowanych zmian organizacji ruchu w odniesieniu do analizowanego zakresu, czy też ich wpływu na obszar całego miasta/aglomeracji, a w efekcie rekomendację najkorzystniejszych wariantów zmian i podejmowanie optymalnych decyzji organizacyjno-inwestycyjnych.
- Zaawansowane oprogramowanie do makro i mikro symulacji ruchu drogowego umożliwia jego ocenę i analizę powiązania modelowanych warunków z emisją zanieczyszczeń przez pojazdy na różnym poziomie szczegółowości. Począwszy od zagregowanych analiz obszarowych, poprzez ocenę wyników grup pojazdów, aż do analizy z dokładnością na poziomie pojedynczych pojazdów. Wybór poziomu szczegółowości wyników uzależniony jest od indywidualnych oczekiwań i potrzeb w konkretnych przypadkach. Dzięki możliwości uwzględnienia w procesie symulacji wpływu różnych parametrów ruchu, w zależności od rodzaju symulacji – np. prędkości, przepustowości, struktury rodzajowej pojazdów, sygnalizacji świetlnej – uzyskiwane wyniki charakteryzują się wysokim poziomem wiarygodności.
- W toku realizacji pracy dostrzeżono również obszary niemożliwe do wyeliminowania, a mające potencjalny wpływ na wartości uzyskiwanych wyników. Są to niedokładności lokalnych i centralnych baz danych o zarejestrowanych pojazdach, które z uwagi na brak innych wiarygodnych źródeł informacji w tym zakresie, stanowiły punkt wyjścia do prac nad opracowaniem struktury rodzajowej pojazdów. Przedmiotowa niedokładność tych baz polega na ciągłym wykazywaniu w ewidencji pojazdów, które w rzeczywistości nie są już wykorzystywane, co wynika z faktu ich niewyrejestrowywania przez właścicieli i w efekcie powoduje zawyżenie ilości pojazdów najstarszych.
- Zastosowane w pracy podejście, dzięki swojej otwartości, uniwersalności i możliwości aktualizacji oraz bogatej bazie danych jest pomocnym narzędziem przy tworzeniu



dokumentacji związanej z planowaniem inwestycji drogowych, czy też szerzej rozumianego rozwoju systemów transportowych i szacowaniem ich skutków środowiskowych oraz opracowywaniu polityk i programów rozwoju miast czy ich aktualizacjach. Ponadto stanowi on dynamiczne źródło wiedzy, zarówno dla jednostek badawczo-naukowych, władz lokalnych oraz przedsiębiorstw prywatnych, w zakresie wpływu ruchu drogowego na stan środowiska naturalnego, z możliwością predykcji w określonym horyzoncie czasowym. W tym aspekcie należy zwrócić uwagę, że duże projekty inwestycyjne powinny być oceniane zgodnie z Dyrektywą 85/337/EWG w sprawie oceny wpływu wywieranego przez niektóre przedsięwzięcia publiczne i prywatne na środowisko.

- Algorytm postępowania opisany w pracy może być wykorzystywany przez jednostki miejskie, w kompetencjach których znajdują się zadania z zakresu planowania, przygotowywania i realizacji inwestycji infrastrukturalnych oraz organizacji ruchu, w szczególności zarządców dróg, jak również organizatorów publicznego transportu zbiorowego, zarówno w odniesieniu do samorządów lokalnych (miejskich i powiatowych), jak i wojewódzkich. Może być także wykorzystywany przy określaniu wpływu planowanych układów komunikacyjnych na wielkość emisji już na wstępnych etapach opracowywania miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego. Ponadto proponowany sposób postępowania może być z powodzeniem wykorzystywany przez operatorów i przewoźników autobusowych (w szczególności miejskich i podmiejskich) do określania rzeczywistych skutków i korzyści środowiskowych wynikających z wymiany taboru autobusowego i pozyskiwania środków finansowych na ten cel. Jednocześnie może on być źródłem argumentów i podstawą dla organizatorów publicznego transportu zbiorowego do definiowania określonych wymagań dotyczących taboru, jakie przewoźnik ubiegający się o udzielenie zamówienia musi bezwzględnie spełniać.

Ponadto z przeprowadzonych badań wyciągnięto następujące wnioski szczegółowe, dotyczące w głównej mierze analizowanych węzłów komunikacyjnych Miasta Poznania:

- W przypadku bardzo obciążonego węzła, jakim jest rondo Rataje stwierdzono, że jego przebudowa zgodnie z najlepszym z zaproponowanych wariantów winna spowodować obniżenie globalnej emisji  $\text{NO}_x$  i HC w obrębie tego węzła o około 20% w stosunku do stanu obecnego. Emisja CO i PM zmniejszyłaby się w mniejszym stopniu. Niemniej ogólnie rzecz biorąc są to bardzo istotne korzyści środowiskowe. Należy zwrócić uwagę także na redukcję emisji  $\text{CO}_2$  o około 20%. Jest to ponownie bardzo istotna wartość. Stanowi ona także potwierdzenie opinii zawartej w rządowym dokumencie pt. „Polska polityka klimatyczna”, gdzie wskazano, że w Polsce to właśnie w zakresie infrastruktury istnieją największe rezerwy obniżenia emisji  $\text{CO}_2$  w transporcie, szacowane na 20-30%.
- Analizy dotyczące wprowadzenia bus-pasów (DOP) w ciągu ulic Garbary i Mostowej wykazały, iż rozwiązanie to nie daje jednoznacznych korzyści środowiskowych. Wprawdzie zmniejsza się o kilkanaście procent globalna emisja CO poruszających się tam pojazdów, ale w podobnym zakresie wzrasta emisja  $\text{NO}_x$ . Wprowadzenie bus-pasów w wymienionej lokalizacji pozostaje praktycznie bez wpływu na emisję HC i PM. Emisja  $\text{CO}_2$  zmniejsza się o około 5%.

- Badania symulacyjne emisji szkodliwych składników spalin na węzłach systemu transportowych będących w trakcie remontów i przebudowy wykazały, że globalna emisja w obrębie takiego węzła może w związku ze zmianą organizacji ruchu wzrastać w bardzo dużym zakresie. Dla węzła rondo Kaponiera stwierdzono na przykład, że wzrost emisji CO, HC i NO<sub>x</sub> w takiej sytuacji jest blisko dwukrotny. Emisji PM ponad trzykrotny. Z kolei na samym remontowanym węźle notuje się spadki emisji z uwagi na ograniczony ruch pojazdów. Warto jednocześnie wskazać, że modernizacja węzła może wiązać się ze wzrostem lokalnej emisji szkodliwych składników spalin w związku ze wzrostem jego przepustowości i w ten sposób liczby pokonujących go pojazdów, jak to miało miejsce w przypadku ulicy Grunwaldzkiej. Zwiększenie średniej prędkości pojazdów prowadzi najczęściej do wzrostu emisji PM.
- Analiza korzyści związanych z wyprowadzeniem strefy środowiskowej w Poznaniu pokazała, że jej wprowadzenie przyniesie wymierne korzyści emisyjne nie tylko w jej obrębie, ale także w obrębie całego miasta. Jest to spowodowane tym, że pomimo, iż strefa stanowi niewielką część miasta, to w analizowanym obszarze strefy w ciągu doby generowanych jest blisko 40% podróży na jego terenie.
- Przeprowadzone analizy, prace modelowe i symulacyjne, mimo iż bazowały na stosunkowo niedokładnej bazie danych o strukturze pojazdów, przez co obciążone są ryzykiem błędu, to i tak wskazują obraz potencjalnego wpływu i możliwych do osiągnięcia, wymiernych korzyści planowanych inwestycji. Stanowią również nieocenione źródło wspomagające proces podejmowania decyzji inwestycyjnych.

W świetle otrzymanych wyników badań, autor widzi potrzebę ich kontynuowania, ze szczególnym uwzględnieniem następujących kierunków:

- ocena wpływu wprowadzania na wybranych obszarach stref uspokojonego ruchu na poziom emisji zanieczyszczeń i hałasu przez uczestniczące w ruchu pojazdy w skali lokalnej i globalnej,
- ocena wpływu rosnącego udziału pojazdów z napędem alternatywnym na poziom emisji zanieczyszczeń przez pojazdy na wybranych węzłach komunikacyjnych,
- ocena wpływu zmniejszonego ruchu pojazdów w wyniku pandemii Covid-19 na poziom emisji zanieczyszczeń przez pojazdy na wybranych węzłach komunikacyjnych.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Andrzejewski M., Merkisz J., Nowak M.: Wpływ prędkości obrotowej silnika ZS na emisję związków toksycznych w spalinach. *Combustion Engines* nr 3/2015.
- [2] Bebkiewicz K, Chłopek Z, Szczepański K, Zimakowska-Laskowska M. The Influence of the Properties of Vehicles Traffic on the Total Pollutant Emission. *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej*, nr 1/2017.
- [3] Bielaczyc P., Merkisz J., Pielecha J.: Stan cieplny silnika spalinowego a emisja związków szkodliwych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2001.
- [4] Biuro Inżynierii Transportu Pracownie Projektowe sp. j. Millward Brown: Badania i opracowanie planu transportowego Aglomeracji Poznańskiej. Poznań 2014.
- [5] Biuro Inżynierii Transportu Pracownie Projektowe sp. j.: Kompleksowe badania ruchu Poznań 2000. Poznań 2000.
- [6] Biuro Inżynierii Transportu Pracownie Projektowe sp. j.: Program etapowego rozwoju układu drogowo-ulicznego Poznania do roku 2013. Poznań 2004.
- [7] Branston D.: Link Capacity Functions – A Review. *Trans. Res* 10, 1976.
- [8] Burnewicz J.: Prognoza rozwoju transportu w Polsce do 2030 roku, Ministerstwo Infrastruktury, Warszawa 2017.
- [9] Chłopek Z. Wpływ stanów pracy silnika o zapłonie samoczynnym na emisję jednostkową zanieczyszczeń. *Combustion Engines* nr 3/2015.
- [10] Chojnicki Z.: Zastosowanie modeli grawitacji i potencjału w badaniach przestrzenno-ekonomicznych. Komitet Przestrzennego Zagospodarowania Kraju PAN, Warszawa 1966.
- [11] Corriere F., Guerrieri M., Ticali D., Messineo A.: Estimation of Air Pollutant Emissions in Flower Roundabouts and in Conventional Roundabouts. *Archives of Civil Engineering*, vol. 2, 2013.
- [12] DELPHI Technologies. 2018-2019 Worldwide Emissions Standards – On and off-highway commercial vehicles. <https://www.delphi.com/sites/default/files/2020-03/2018-2019%20Heavy-Duty%20&%20Off-Highway%20Vehicles.pdf>
- [13] DELPHI Technologies. 2019-2020 Worldwide Emissions Standards – Passenger cars and light duty vehicles. <https://www.delphi.com/sites/default/files/inline-files/DELPHI%20booklet%20emission%20passenger%20cars%202020%20online%20complet.pdf>
- [14] Dijkema M., van der Zee S., Brunekreeft B. i in.: Air Quality Effects of an Urban Highway Speed Limit Reduction. *Atmospheric Environment*, vol. 42, 2008.
- [15] Dośpiał-Borysiak K.: Polska polityka klimatyczna – analiza czynników politycznych, społecznych i ekonomicznych. „e-PolitiKon” *Klimat i Polityka*, nr 7/2013.
- [16] Dybicz T.: Modelowanie i symulacje ruchu, rys historyczny i aktualnie stosowane oprogramowanie. Konferencja Naukowo-Techniczna „Modelowanie podróży i prognozowanie ruchu”, Kraków 25-26.11.2009.
- [17] Dybicz T.: Pakiet oprogramowania Visum jako narzędzie do modelowania ruchu transportu publicznego w Warszawie. Międzynarodowa konferencja „Transport publiczny w Warszawie kluczem harmonijnego rozwoju stolicy Polski”, Warszawa 10-11.10.2005.

- [18] European Environment Agency, [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu).
- [19] Faiz A., Weaver Ch., Walsh M.P.: Air Pollution from Motor Vehicles. The World Bank, Waszyngton DC., 1996.
- [20] Fonseca N., Casanova J., Valdes M.: Influence of the Stop/Start System on CO<sub>2</sub> Emissions of a Diesel Vehicle in Urban Traffic. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 33, 2014.
- [21] Global Mobility Report 2017: Tracking Sector Performance, Sustainability Mobility for all, Waszyngton DC, 2017.
- [22] Główny Urząd Statystyczny, *Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2017 i 2018*, Warszawa 2019.
- [23] Guerrieri M., Corriere F., Parla G. i in.: Reducing Air Pollutants through Road Innovative Intersections. *Applied Mechanics and Materials*, vol. 459, 2014.
- [24] <http://blog.optimaconsulting.com.pl/tag/modelowanie-ruchu>.
- [25] <http://katedr.republika.pl/emotsp.htm> – Alternatywna polityka transportu w Polsce według zasad ekorozwoju.
- [26] [http://manhaz.cyf.gov.pl/manhaz/szkola/pdf/S5/Metody%20oszac%20ryzyk\\_Seveso/Przewodnik/Rozdzial\\_6.pdf](http://manhaz.cyf.gov.pl/manhaz/szkola/pdf/S5/Metody%20oszac%20ryzyk_Seveso/Przewodnik/Rozdzial_6.pdf) – Modelowanie transportu i dyspersji w atmosferze uwolnień niebezpiecznych substancji chemicznych Rozdział VI.
- [27] <http://www.wsb.edu.pl/visum-vissim-system-informacji-i-prognozowania-dla-transportu-indywidualnego-i-publicznego,m,logi,821,1032.html>.
- [28] Shancita I., Masjuki H., Kalam M. i in.: A Review on Idling Reduction Strategies to Improve Fuel Economy and Reduce Exhaust Emissions of Transport Vehicles. *Energy Conversion and Management*, vol. 88, 2014.
- [29] Int Panis L., Beck C., Broek S. i in.: PM, NO<sub>x</sub> and CO<sub>2</sub> Emission Reductions From Speed Management Policies in Europe. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 33, 2014.
- [30] Keramydas Ch., Papadopoulos G., Ntziachristos L. i in.: Real-World Measurement of Hybrid Buses' Fuel Consumption and Pollutant Emissions in a Metropolitan Urban Road Network. *Energies*, vol. 11, 2018.
- [31] Kos B., Dydkowski G.: Modelowanie ruchu jako narzędzie zarządzania ruchem w transporcie miejskim. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Ekonomiczne Problemy Usług* nr 113, 2014.
- [32] Kozak K., Kozak M., Merkisz J., Nijak D., Wiśniewska B.: The Automotive Situation in Poznań versus other Cities and National Indexes. *Archives of Transport / Polish Academy of Sciences*, vol. 24, issue 3, 2012.
- [33] Kozak K., Kozak M., Merkisz J., Nijak D., Wiśniewska B.: The Automotive Picture of Poznań against a Background of Other Cities and National Indexes. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN Oddział w Lublinie*, vol. 1, 2012.
- [34] Kozak M., Nijak D., Kozak K., Merkisz J., Merkisz-Guranowska A.: The Analysis of the Environmental Impact of Road Traffic in a Transport Node on the Example of the Rondo Rataje Roundabout in Poznań. *Urban Transport XIX – Nineteenth International Conference on Urban Transport and the Environment / ed. by C.A. Brebbia*. WIT Press, Southampton, 2013.

- [35] Kozak M.: Studium wpływu komponentów tlenowych oleju napędowego na emisję toksycznych składników spalin z silników o zapłonie samoczynnym. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2013.
- [36] Kruczyński S., Merkisz J., Ślęzak M.: Zanieczyszczenie powietrza spalinami przez transport samochodowy. WKiŁ, Warszawa 2019.
- [37] Lijewski P., Kozak M., Fuć P., Rymaniak Ł., Ziółkowski A.: Exhaust Emissions Generated Under Actual Operating Conditions from a Hybrid Vehicle and an Electric One Fitted With a Range Extender. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 78, 2020.
- [38] Lijewski P., Szymlet N., Rymaniak Ł., Sokolnicka-Popis B., Domowicz A.: The Impact of Operating Conditions on Exhaust Emissions from a Two-Wheeled Urban Vehicle. *E3S Web of Conferences*, vol. 100, 2019.
- [39] Liu Q., Hallquist A., Fallgren H. i in.: Roadside Assessment of a Modern City Bus Fleet: Gaseous and Particle Emissions. *Atmospheric Environment: X*, vol. 3, 2019.
- [40] Lopez-Aparicio S.: Costs and Benefits of Implementing an Environmental Speed Limit in a Nordic city. *Science of the Total Environment*, vol. 720, 2020.
- [41] Marczewski J.: Carsharing – gospodarka współdzielenia jako alternatywny model konsumpcji. Praca dyplomowa. Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Poznań 2020.
- [42] Menes M.: Syntetyczny przegląd unijnych i narodowych prognoz przewozowych ze szczególnym uwzględnieniem samochodowego transportu ciężarowego w perspektywie roku 2030 i dalszej. *Transport samochodowy*, nr 1/2018.
- [43] Merkisz J., Andrzejewski M., Nowak M.: Wpływ prędkości obrotowej silnika na emisję zanieczyszczeń przez samochód dostawczy. *Logistyka*, nr 4/2014.
- [44] Merkisz J., Kozak M., Nijak D., Andrzejewski M., Nowak M., Rymaniak Ł., Ziółkowski A.: The Analysis of the Emission Level from a Heavy-Duty Truck in City Traffic. *Combustion Engines* nr 3/2012.
- [45] Merkisz J., Kozak M.: Internal Combustion Engines at the Beginning of the Third Millennium. *International Scientific Conference: Development of Design of Internal Combustion Engines and Quality of Fuels to Meet Future Levels*, Kraków 20-21.06.2011.
- [46] Merkisz J., Merkisz-Guranowska A., Pielecha J. i in.: Exhaust Emission Measurements in the Development of Sustainable Road Transport. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, vol. 20, 2013.
- [47] Merkisz J., Nowak M., Pielecha J. i in.: Możliwości oceny wpływu zmiany infrastruktury drogowej na emisję związków szkodliwych spalin pojazdów. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport*, zeszyt 98, 2013.
- [48] Merkisz J., Pielecha J., Fuć P., Nowak M.: Ocena parametrów emisyjnych pojazdu dla zróżnicowanej mikroinfrastruktury miejskiej. *Combustion Engines* nr 3/2013.
- [49] Merkisz J., Pielecha J., Molik P. i in.: Parametrisation of Operating Conditions in Cars in The on-Board Type Measurements of Pollution Emissions. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC) 2014*, Coimbra, Portugalia, 27-30.10.2014.

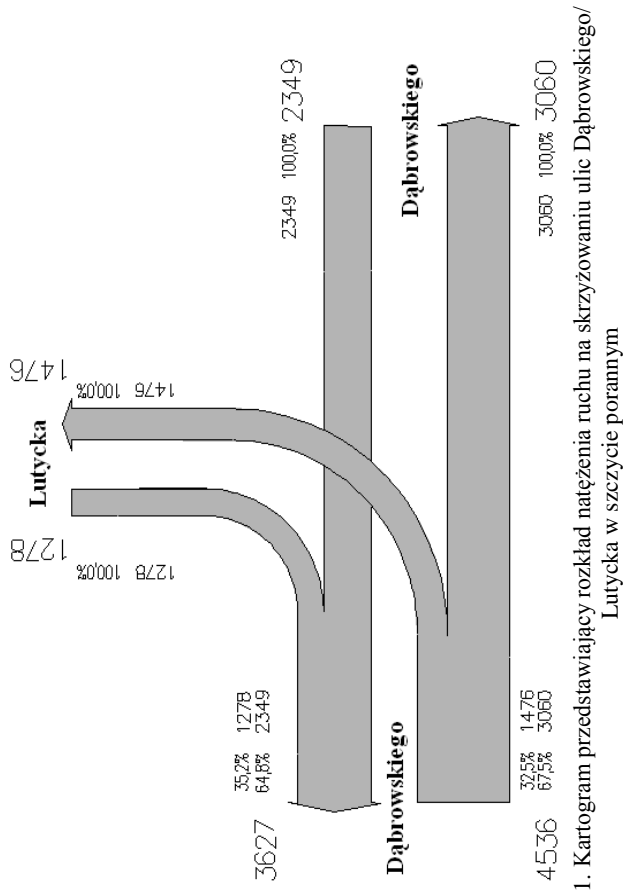
- [50] Merkisz-Guranowska A., Merkisz J., Kozak M., Jacyna M.: Development of a Sustainable Road Transport System. Urban Transport XIX – Nineteenth International Conference on Urban Transport and the Environment / ed. by C.A. Brebbia. WIT Press, Southampton, 2013.
- [51] Ministerstwo Aktywów Państwowych: Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030, wersja 4.1 z dn. 18.12.2019.
- [52] Młodzianowski P.: Identyfikacja praktycznych obszarów zastosowania modeli ekonofizycznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej Zarządzanie nr 28 t. 1, 2017.
- [53] Nanaki E., Koroneos Ch.: Climate Change Mitigation and Deployment of Electric Vehicles Inurban Areas. Renewable Energy, vol. 99, 2016.
- [54] National Center for Environmental Assessment, US Environmental Protection Agency: Carcinogenic Effects of Benzene – An Update. Waszyngton DC 1998.
- [55] Nowak M.: Wpływ infrastruktury drogowej na emisję spalin z pojazdów samochodowych. Praca doktorska, Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, 2017.
- [56] OECD/International Transport 2017, ITF Transport Outlook 2017, OECD, Paryż 2017.
- [57] Plan gospodarki niskoemisyjnej dla miasta Poznania. Uchwała nr XXV/339/VII/2016 Rady Miasta Poznania z dnia 23 lutego 2016 r.
- [58] Plan Zrównoważonego Rozwoju Publicznego Transportu Zbiorowego dla Miasta Poznania na lata 2014-2025. Uchwała Rady Miasta Poznania nr LXIV/1010/VI/2014 z dnia 18 marca 2014 r.
- [59] Polityka Klimatyczna Polski – Strategie redukcji emisji gazów cieplarnianych w Polsce do roku 2020. Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2003.
- [60] Polityka Transportowa Państwa na lata 2006-2025. Ministerstwo Infrastruktury, Warszawa 2005.
- [61] Program ochrony środowiska dla miasta Poznania na lata 2013-2016 z perspektywą do 2020 roku, uchwała Nr LX/928/VI/2013 Rady Miasta Poznania z 10 grudnia 2013 r.
- [62] PTV Vision. Vissim 5.0 User Manual. PTV Planung Transport Verkehr AG, 2007.
- [63] Reitz R.: Grand Challenges in Engine and Automotive Engineering. Frontiers in Mechanical Engineering, nr 1/2015.
- [64] Rudnicki A.: Jakość w komunikacji miejskiej. Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK w Krakowie, zeszyt nr 5, Kraków 1999.
- [65] Scheepers P., Bos R.: Combustion of Diesel Fuel from a Toxicological Perspective. International Archives of Occupational and Environmental Health, vol. 64, 1992.
- [66] Scott Wilson Kirkpatrick Ltd: Aktualizacja zintegrowanego planu rozwoju transportu publicznego w aglomeracji poznańskiej na lata 2004-2013. Warszawa 2006.
- [67] Strategia Rozwoju Miasta Poznania 2020+. Uchwała nr XLI/708/VII/2017 Rady Miasta Poznania z dnia 24 stycznia 2017 roku.
- [68] Strategia Rozwoju Miasta Poznania do roku 2030. Uchwała nr LX/929/VI/2013 Rady Miasta Poznania z dnia 10 grudnia 2013 r.
- [69] Strategia rozwoju transportu do 2020 r. (z perspektywą do 2030 roku). Uchwała Rady Ministrów z dnia 22 stycznia 2013 r.

- [70] Strategia Zrównoważonego Rozwoju Transportu do 2030 roku. Uchwała nr 105/2009 Rady Ministrów z dnia 24 września 2019 r.
- [71] Szarata A.: Aktualizacja modelu symulacyjnego aglomeracji poznańskiej wraz z prognozami. Pracowania Planowania Układów Komunikacyjnych SYSTEM, opracowanie na zlecenie Urzędu Miasta Poznania, 2009.
- [72] The Use and Application of Microsimulation Traffic Models. Interim advice note (36/01). June 2001.
- [73] United States Environmental Protection Agency (EPA): Health Assessment Document For Diesel Engine Exhaust, Waszyngton DC 2002.
- [74] Zrównoważony plan rozwoju transportu publicznego w aglomeracji poznańskiej na lata 2007-2015. Poznański Obszar Metropolitarny. Poznań 2006.
- [75] Żochowska R.: Dynamiczne macierze podróży w sieciach miejskich. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: TRANSPORT, z. 66, 2010.

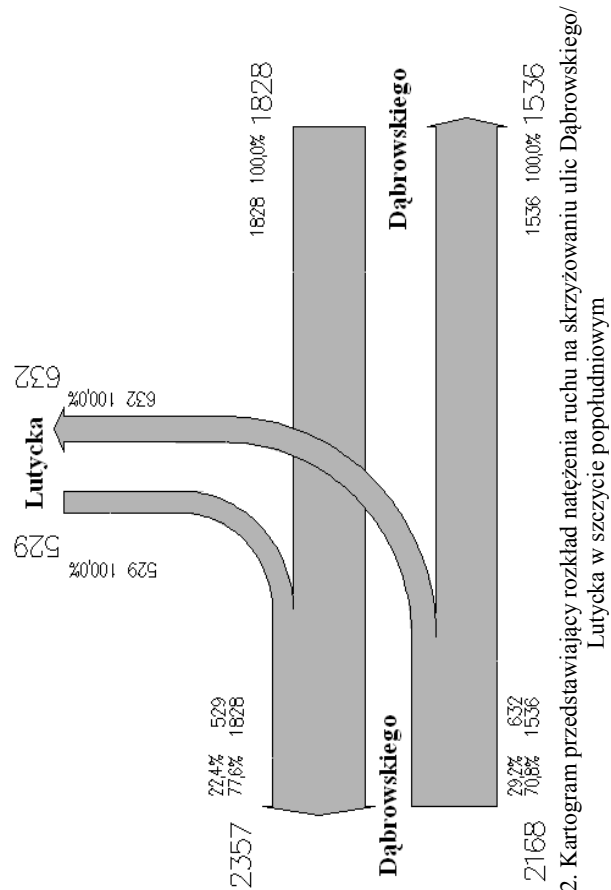
# **Załącznik nr 1**

**Kartogramy przedstawiające rozkład natężenia ruchu  
na poszczególnych badanych skrzyżowaniach**

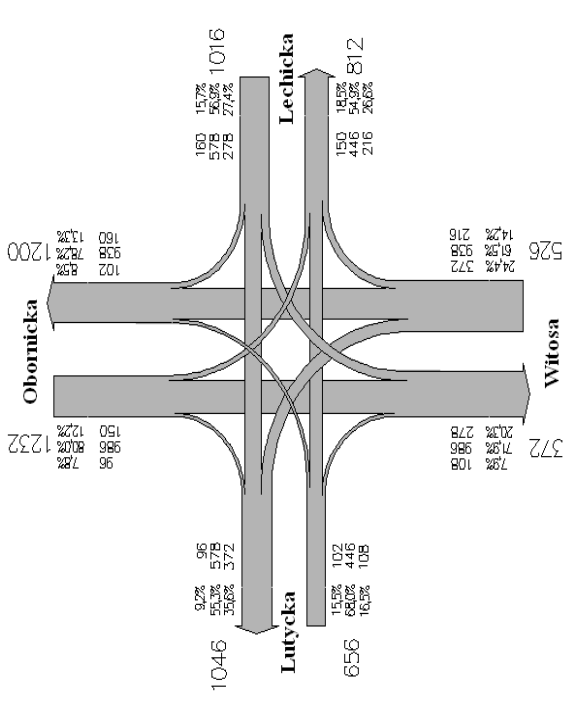




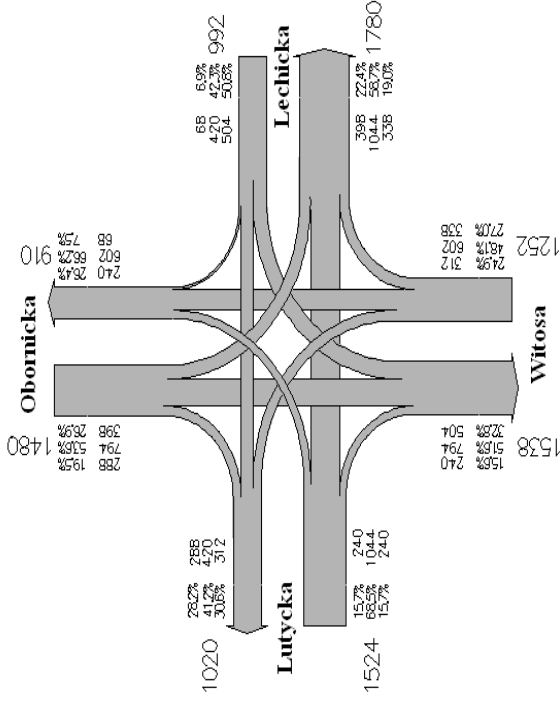
Rys. 1. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Dąbrowskiego/ Lutycka w szczycie porannym



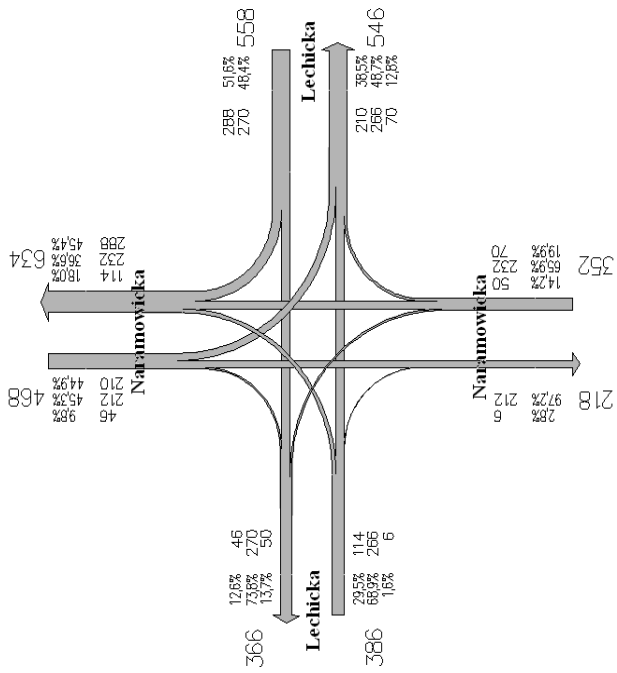
Rys. 2. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Dąbrowskiego/ Lutycka w szczycie popołudniowym



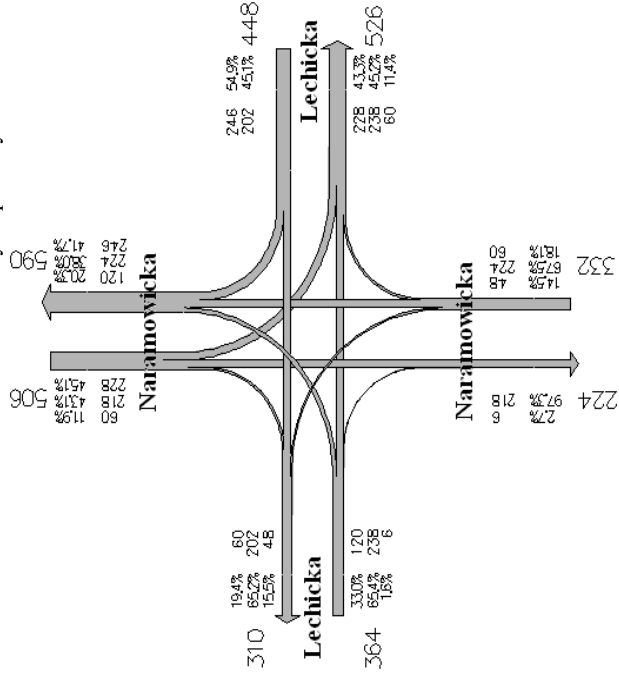
Rys. 3. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Obornicka/ Lechicka (Rondo Dembowskiego) w szczycie porannym



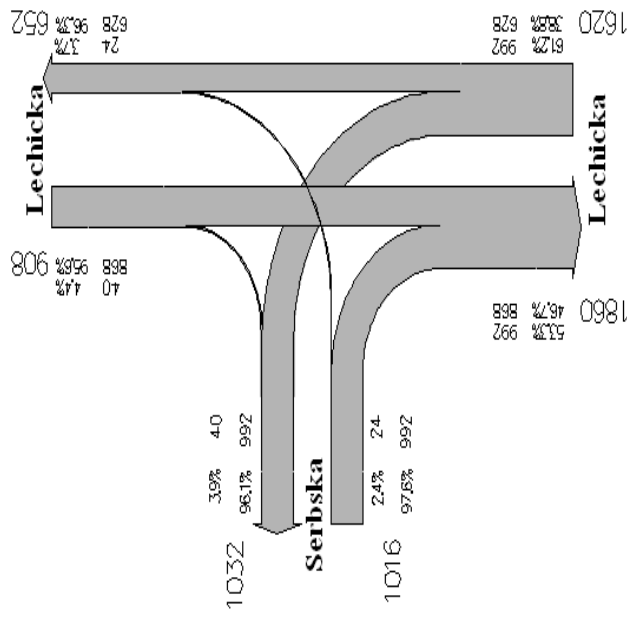
Rys. 4. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Obornicka/ Lechicka (Rondo Dembowskiego) w szczycie popołudniowym



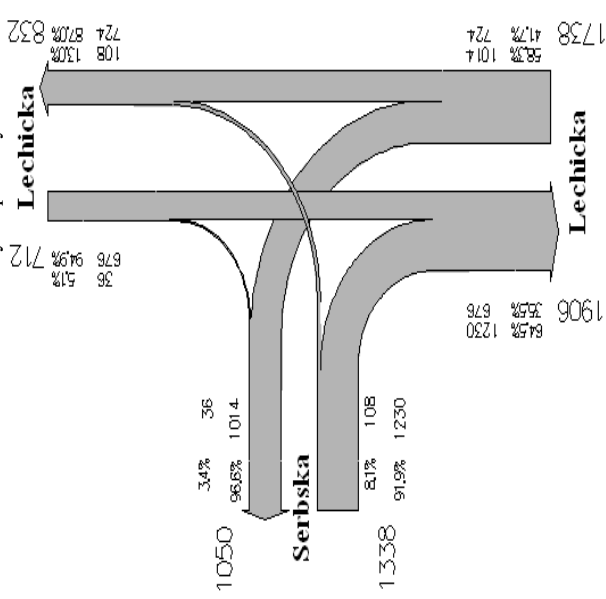
Rys. 5. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Lechicka/ Naramowicka w szczytce porannym



Rys. 6. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Lechicka/ Naramowicka w szczytce popołudniowym

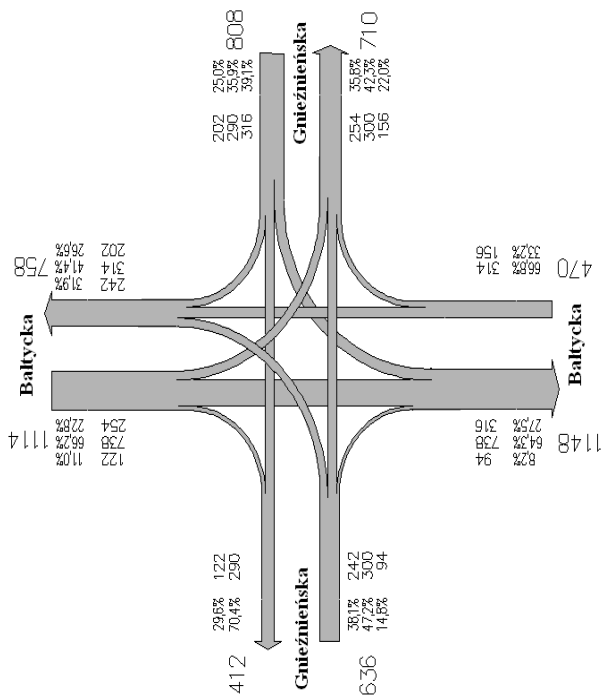


Rys. 7. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Lechicka/ Serbska w szczytce porannym

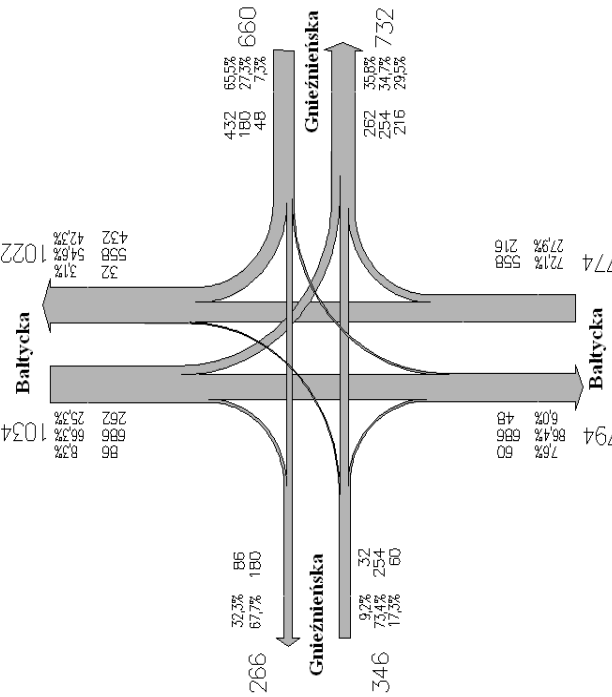


Rys. 8. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Lechicka/ Serbska w szczytce popołudniowym

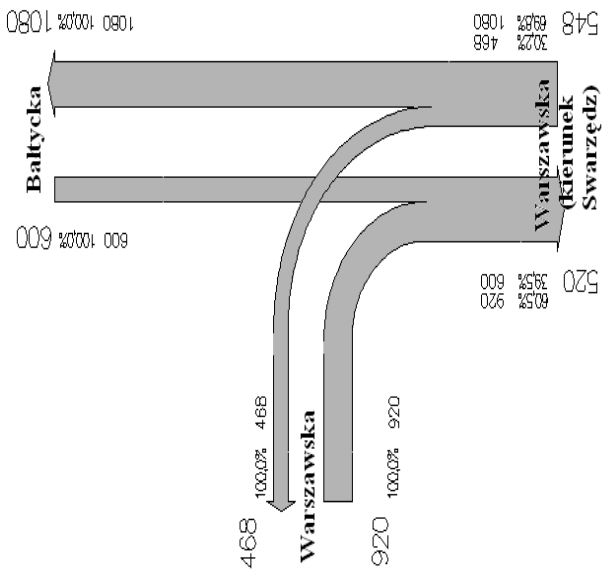




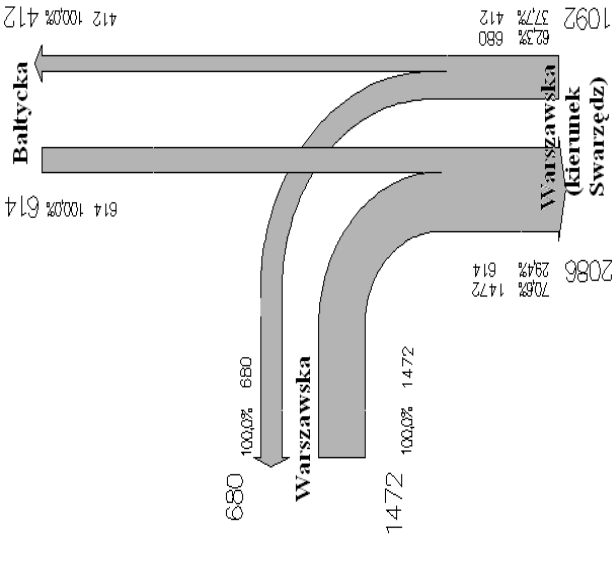
Rys. 13. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Bałtycka/ Gnieźnieńska w szczytce porannym



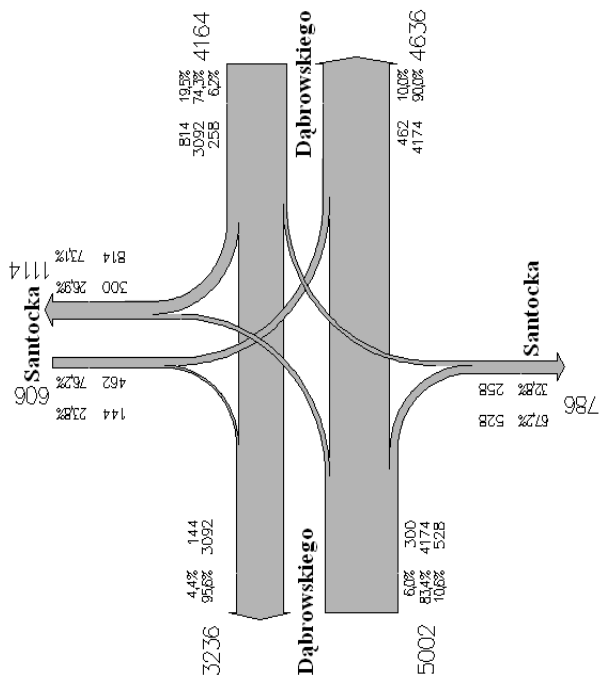
Rys. 14. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Bałtycka/ Gnieźnieńska w szczytce popołudniowej



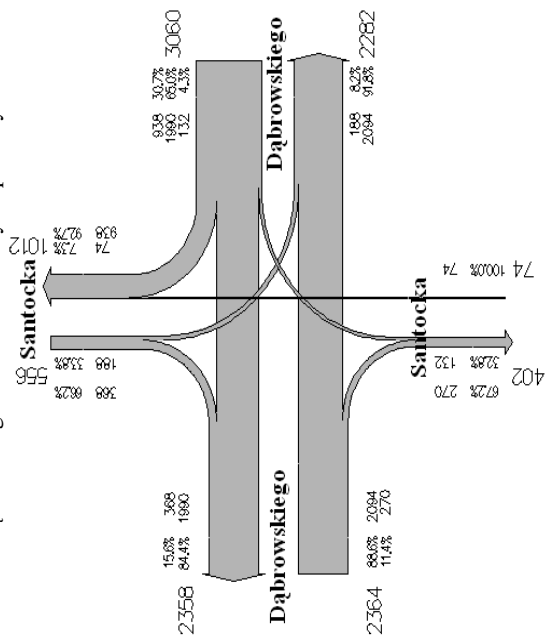
Rys. 15. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Bałtycka/ Warszawa (Węzeł Antoninek) w szczytce porannym



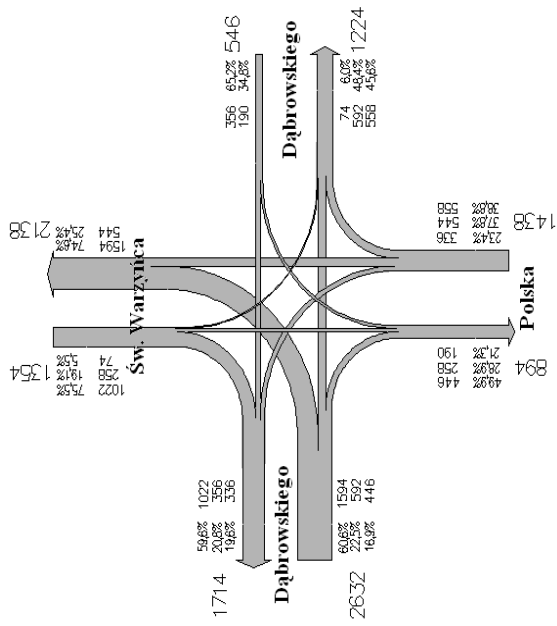
Rys. 16. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Bałtycka/ Warszawa (Węzeł Antoninek) w szczytce popołudniowej



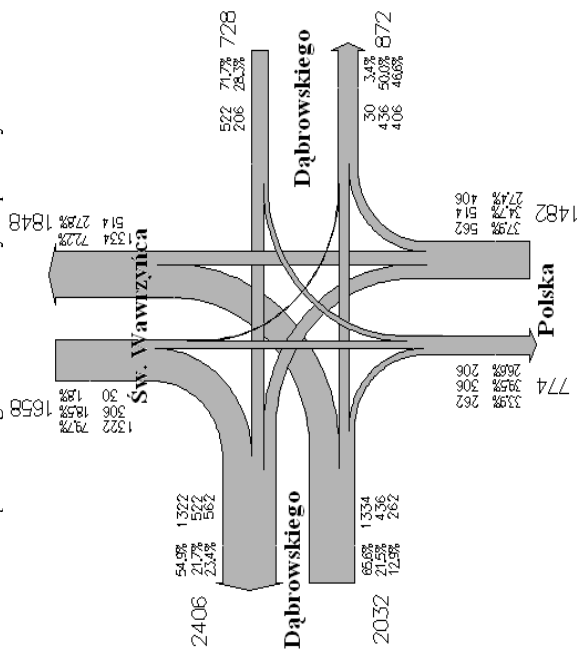
Rys. 17. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Dąbrowskiego/ Santocka w szczycie porannym



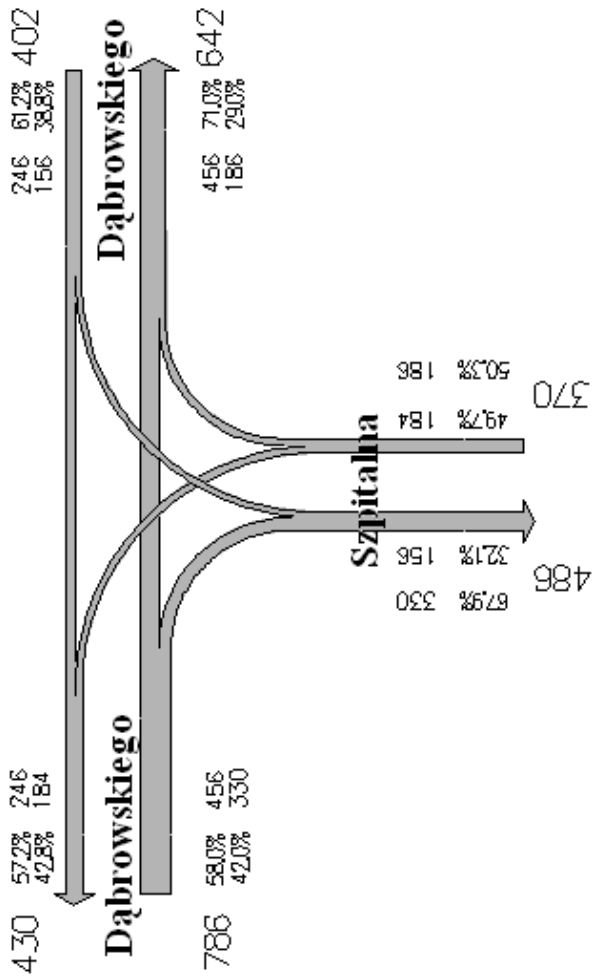
Rys. 18. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Dąbrowskiego/ Santocka w szczycie popołudniowym



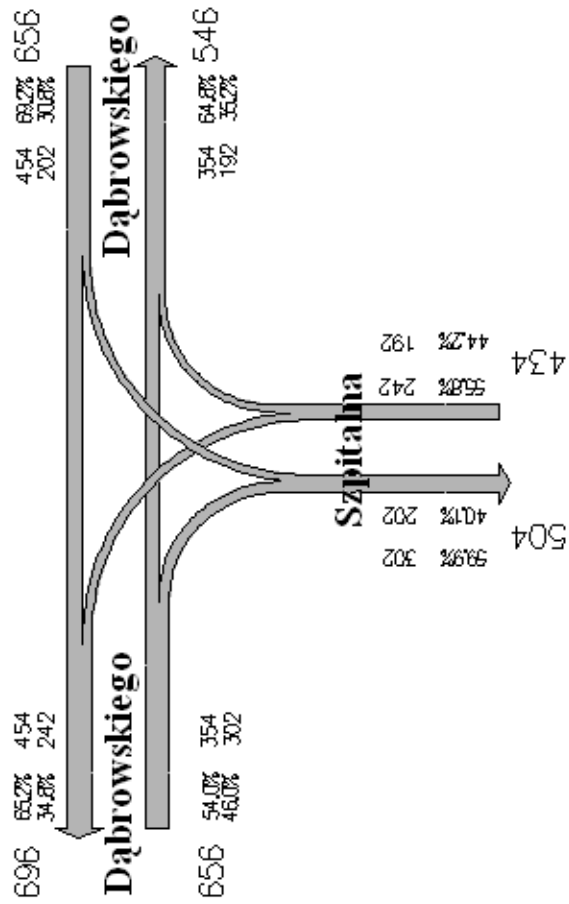
Rys. 19. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Dąbrowskiego/ Polska w szczycie porannym



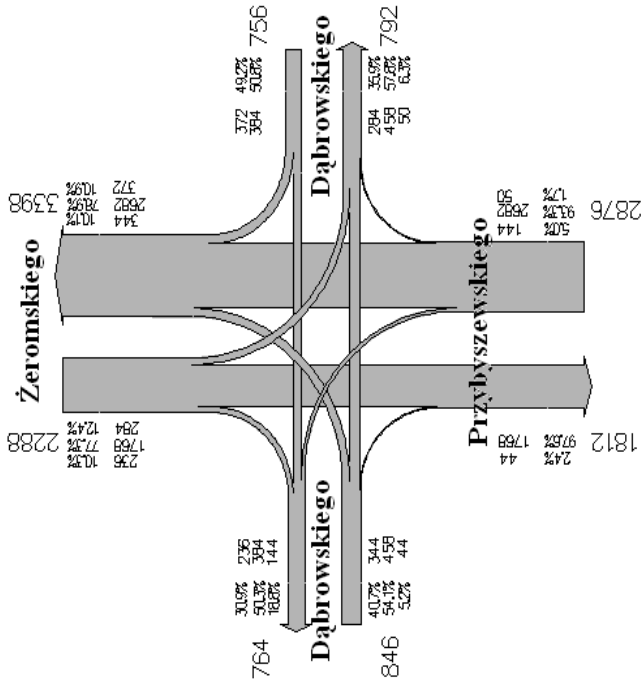
Rys. 20. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Dąbrowskiego/ Polska w szczycie popołudniowym



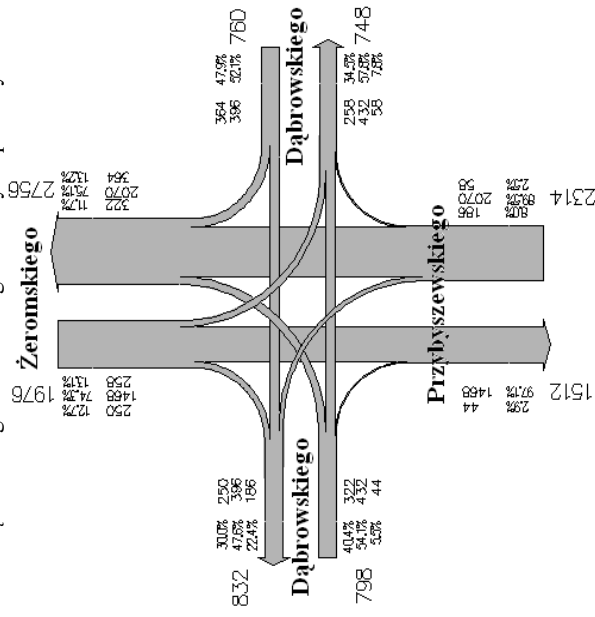
Rys. 21. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Dąbrowskiego/ Szpitalna w szczytce porannym



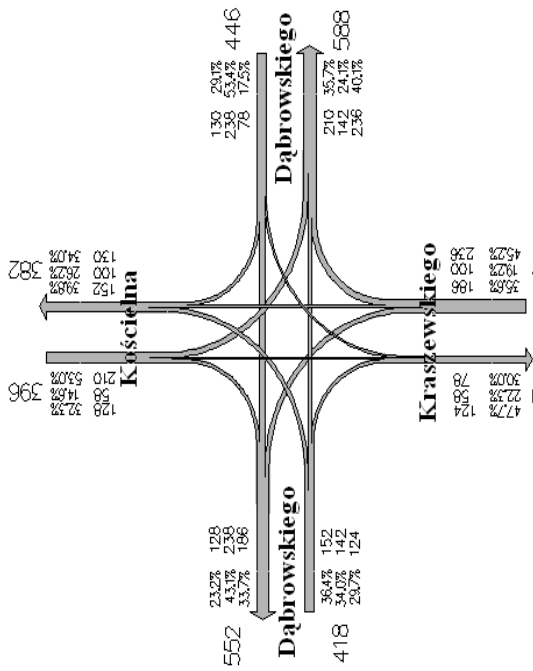
Rys. 22. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Dąbrowskiego/ Szpitalna w szczytce popołudniowym



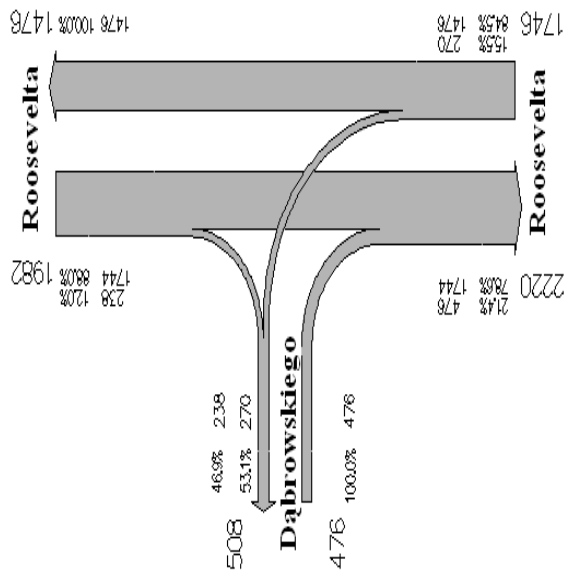
Rys. 23. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Dąbrowskiego/ Żeromskiego w szczytce porannym



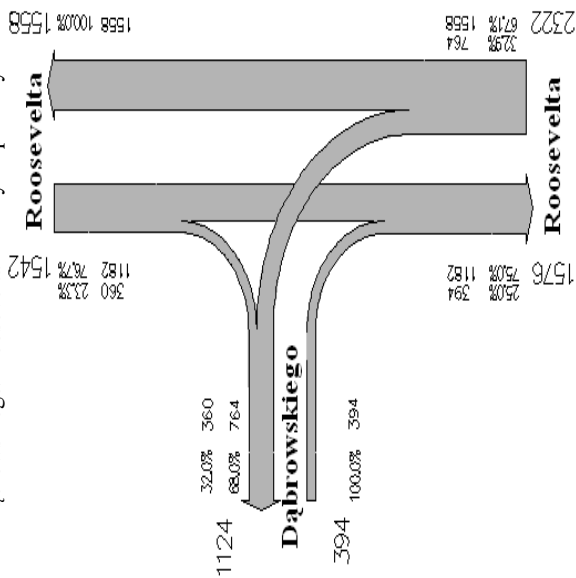
Rys. 24. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Dąbrowskiego/ Żeromskiego w szczytce popołudniowym



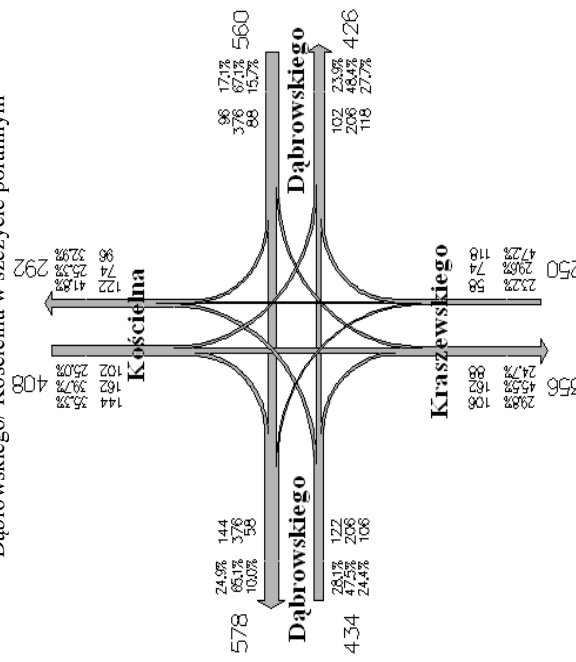
Rys. 25. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Dąbrowskiego/ Kościelna w szczycie porannym



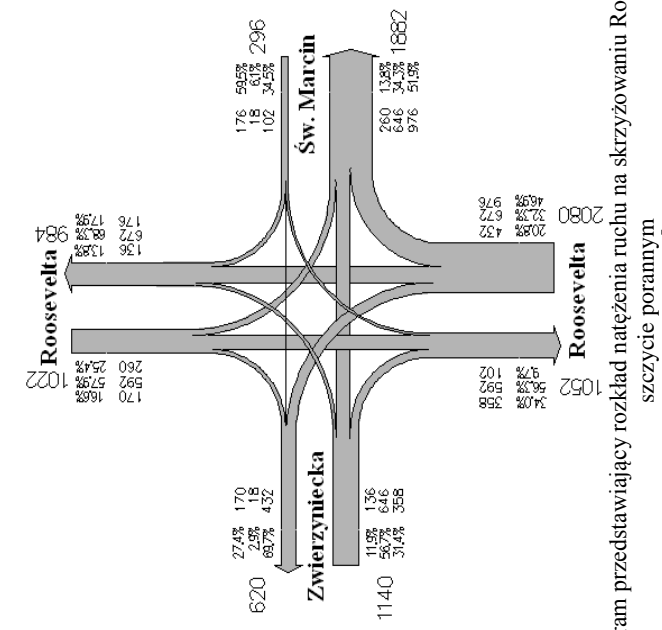
Rys. 27. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Dąbrowskiego/ Roosevelta w szczycie porannym



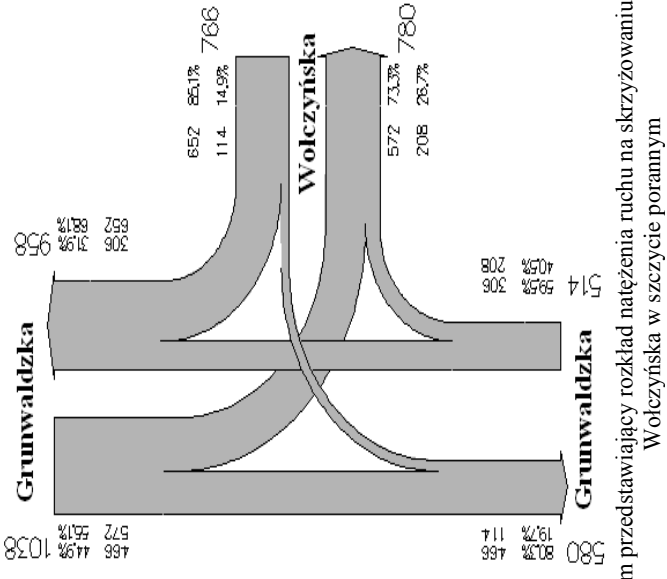
Rys. 28. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Dąbrowskiego/ Roosevelta w szczycie popołudniowym



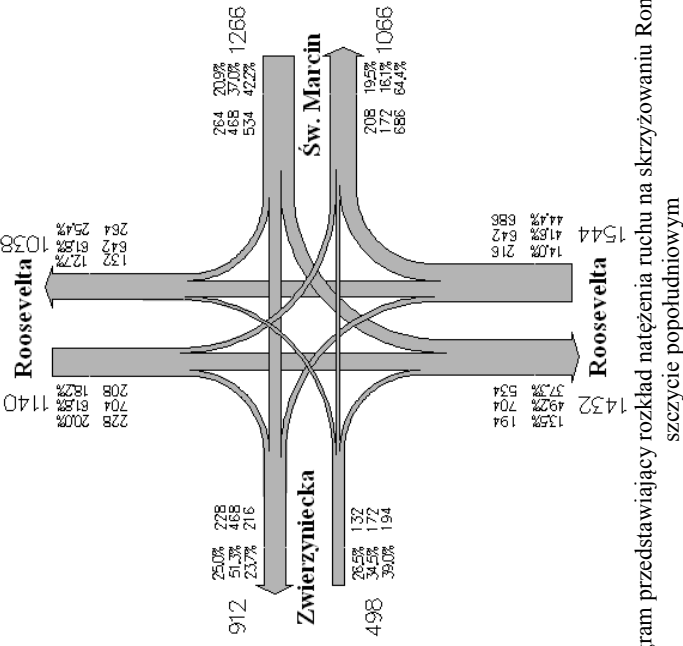
Rys. 26. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Dąbrowskiego/ Kościelna w szczycie popołudniowym



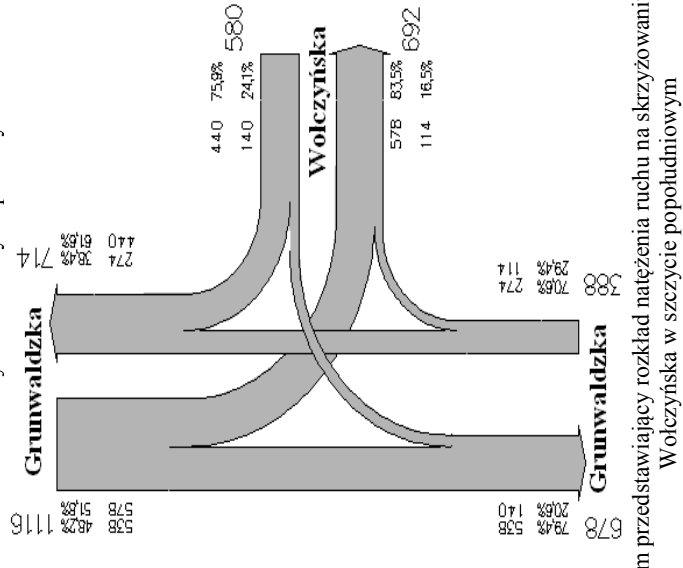
Rys. 29. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu Rondo Kaponiera w szczytce porannym



Rys. 31. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Grunwaldzka i Wolczyńska w szczytce porannym

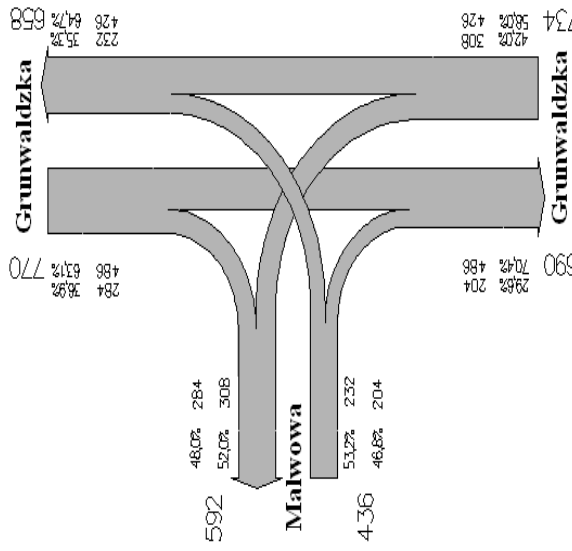


Rys. 30. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu Rondo Kaponiera w szczytce popołudniowym

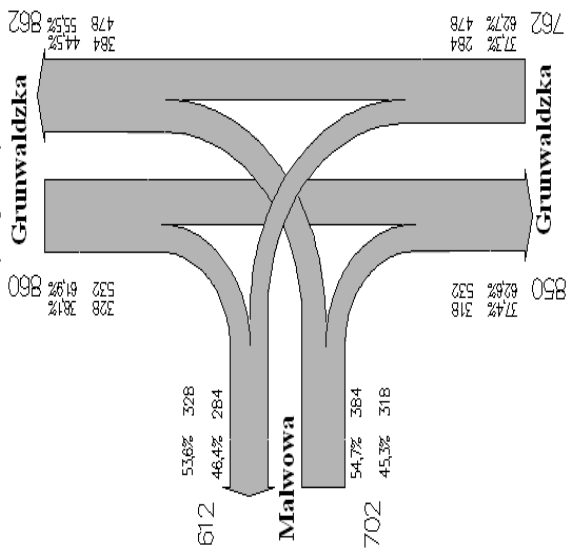


Rys. 32. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Grunwaldzka i Wolczyńska w szczytce popołudniowym

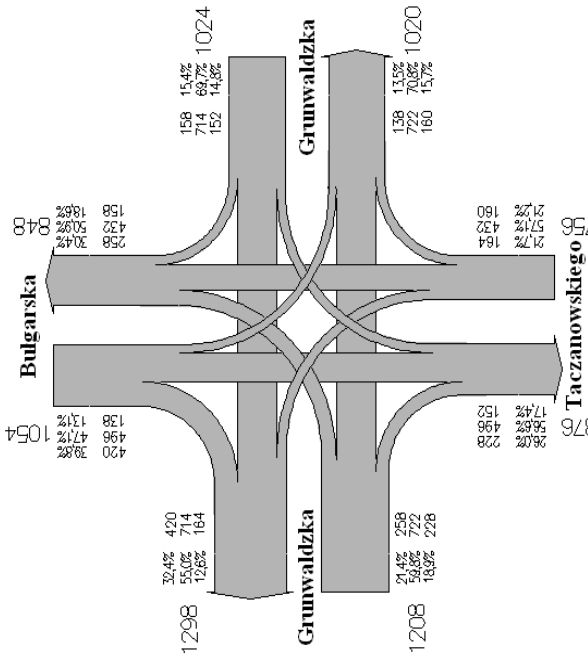




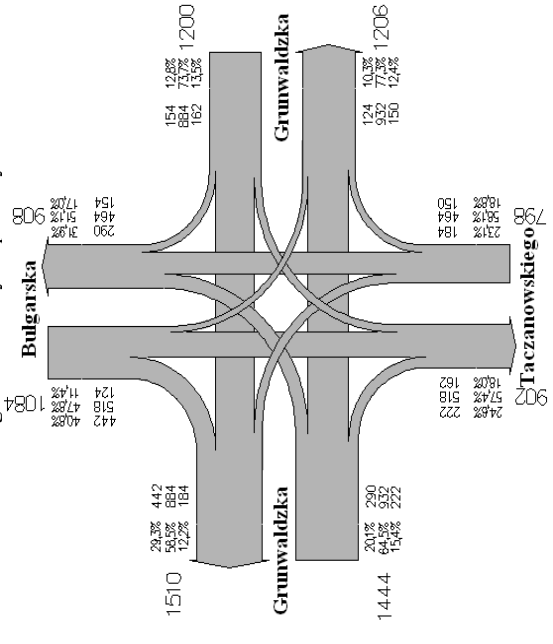
Rys. 33. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Grunwaldzka/Malwowa w szczycie porannym



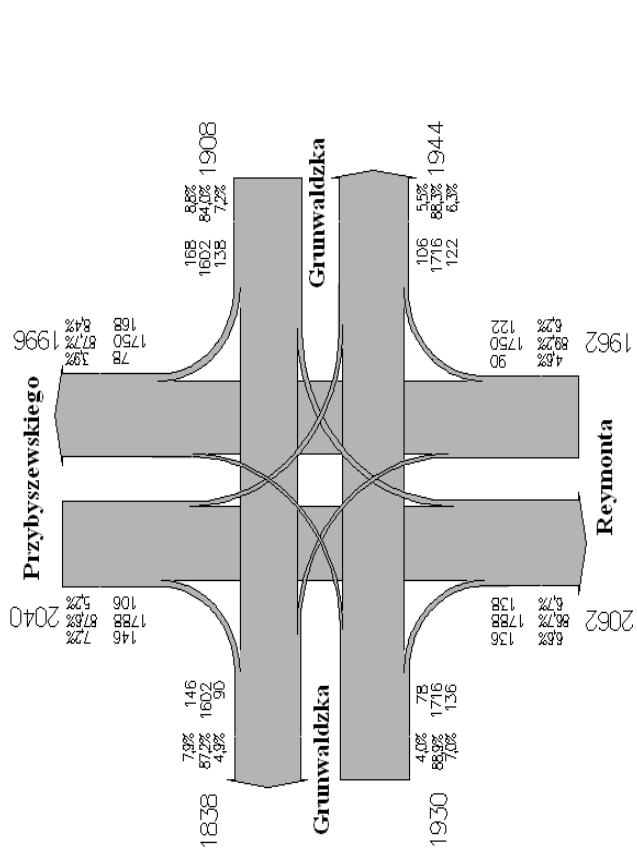
Rys. 34. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Grunwaldzka/Malwowa w szczycie popołudniowym



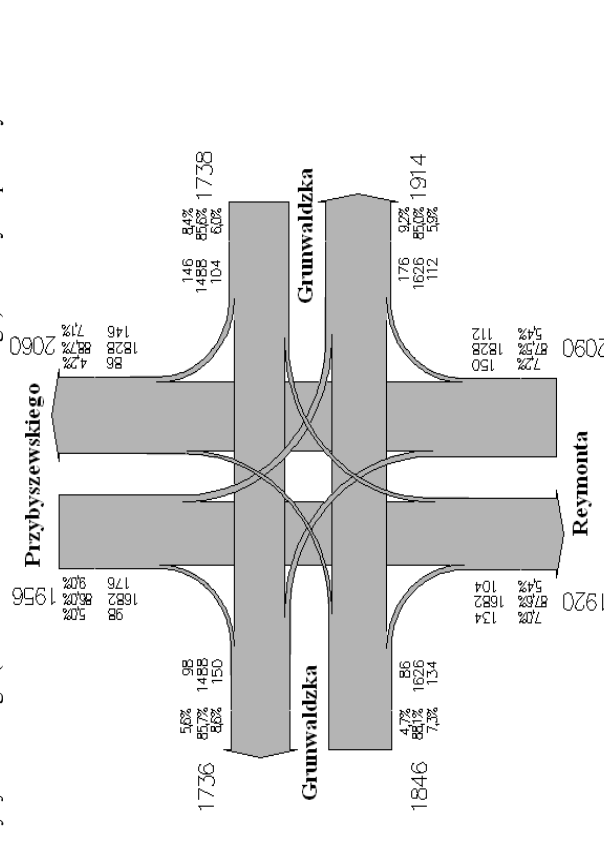
Rys. 35. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Grunwaldzka/Bulgarska w szczycie porannym



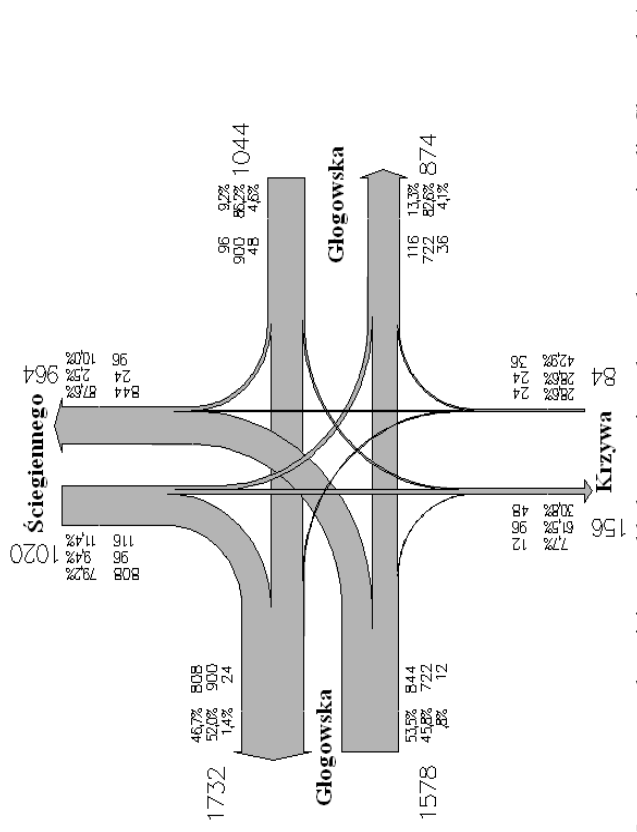
Rys. 36. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Grunwaldzka/Bulgarska w szczycie popołudniowym



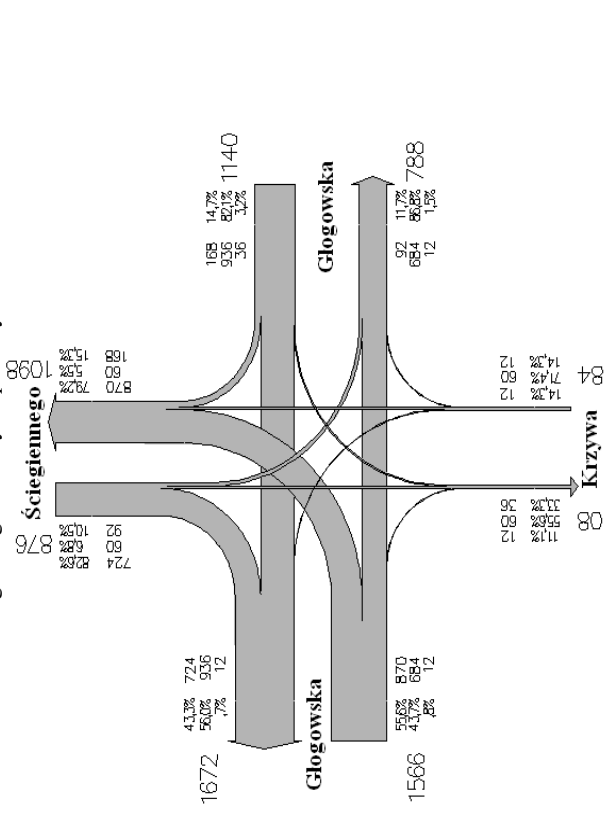
Rys. 37. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Grunwaldzka/Przybyszewskiego (Rondo Jana Nowaka Jeziorańskiego) w szczycie porannym



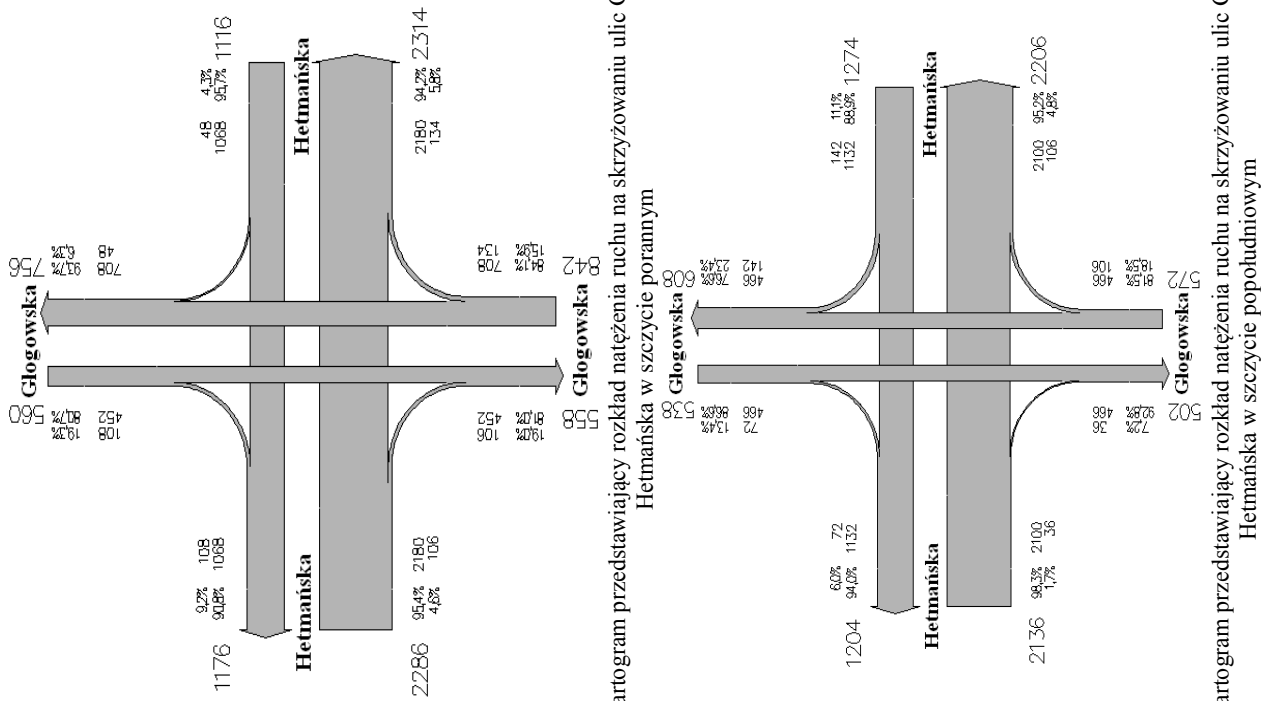
Rys. 38. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Grunwaldzka/Przybyszewskiego (Rondo Jana Nowaka Jeziorańskiego) w szczycie popołudniowym



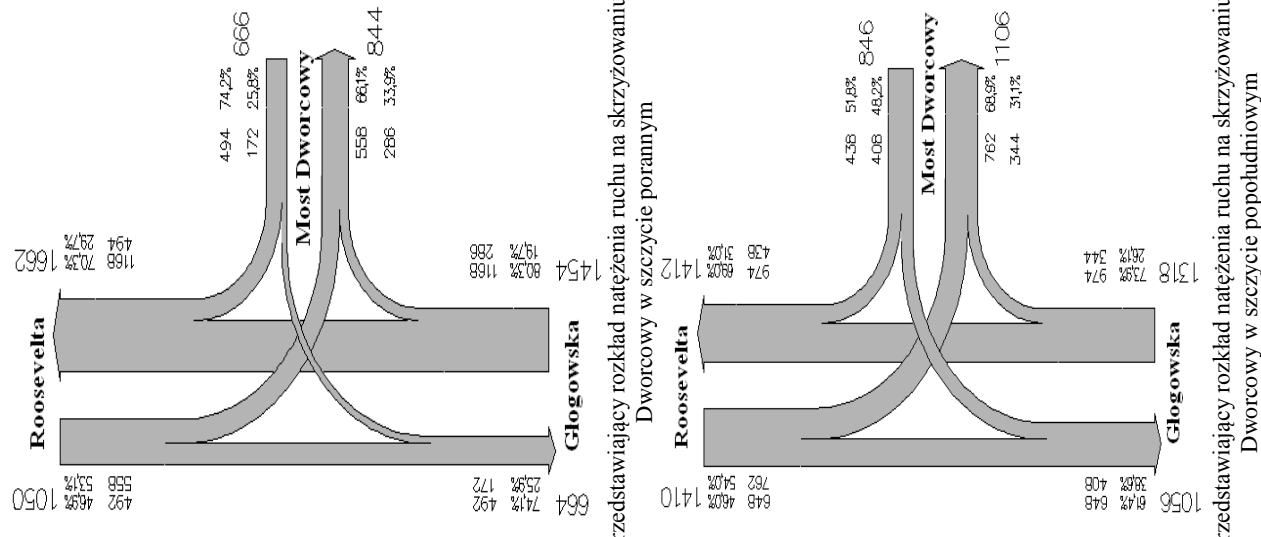
Rys. 39. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Glogowska/Ściegiennego w szczycie porannym



Rys. 40. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Glogowska/Ściegiennego w szczycie popołudniowym

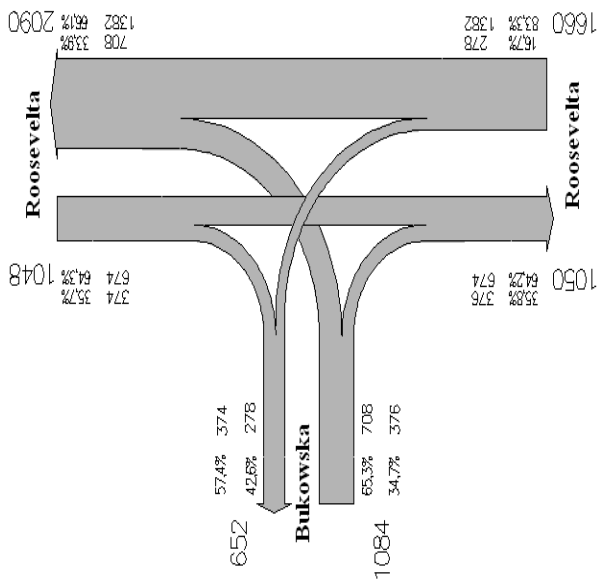


Rys. 41. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Głogowska/Hetmańska w szczycie porannym

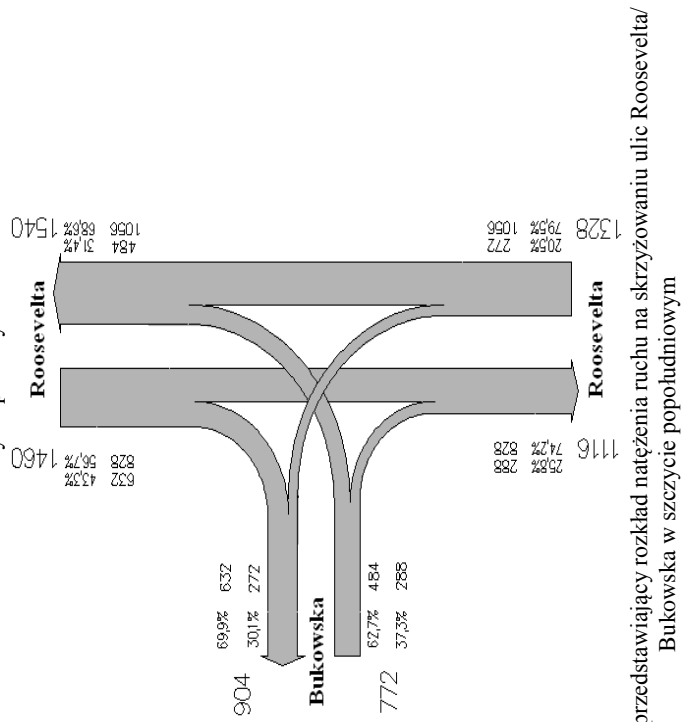


Rys. 43. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Głogowska/ Most Dworcowy w szczycie porannym

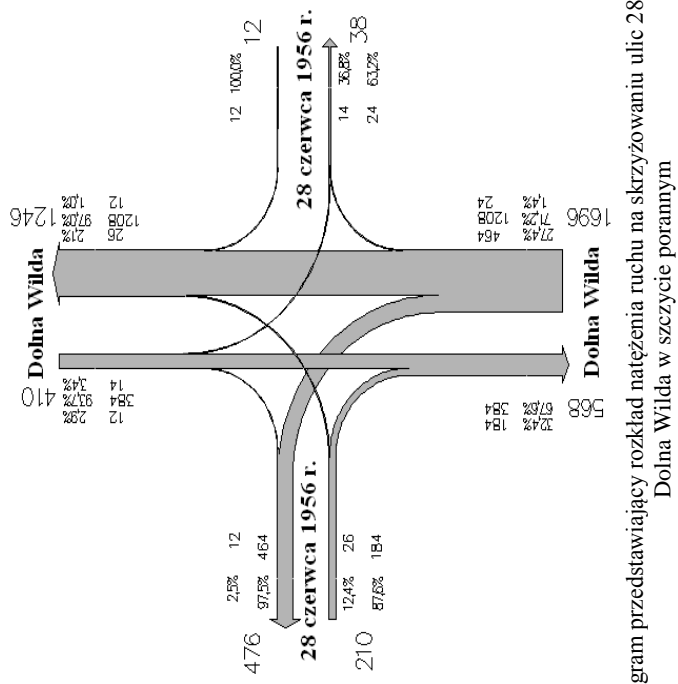
Rys. 44. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Głogowska/ Most Dworcowy w szczycie popołudniowym



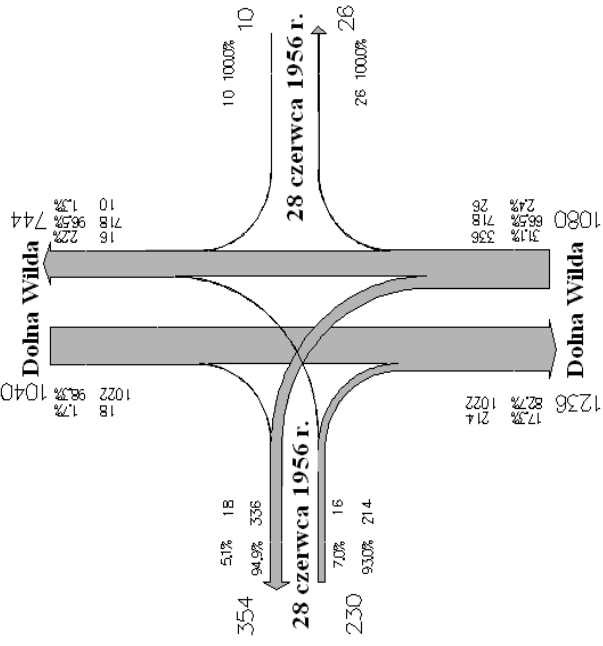
Rys. 45. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Roosevelta/Bukowska w szczycie porannym



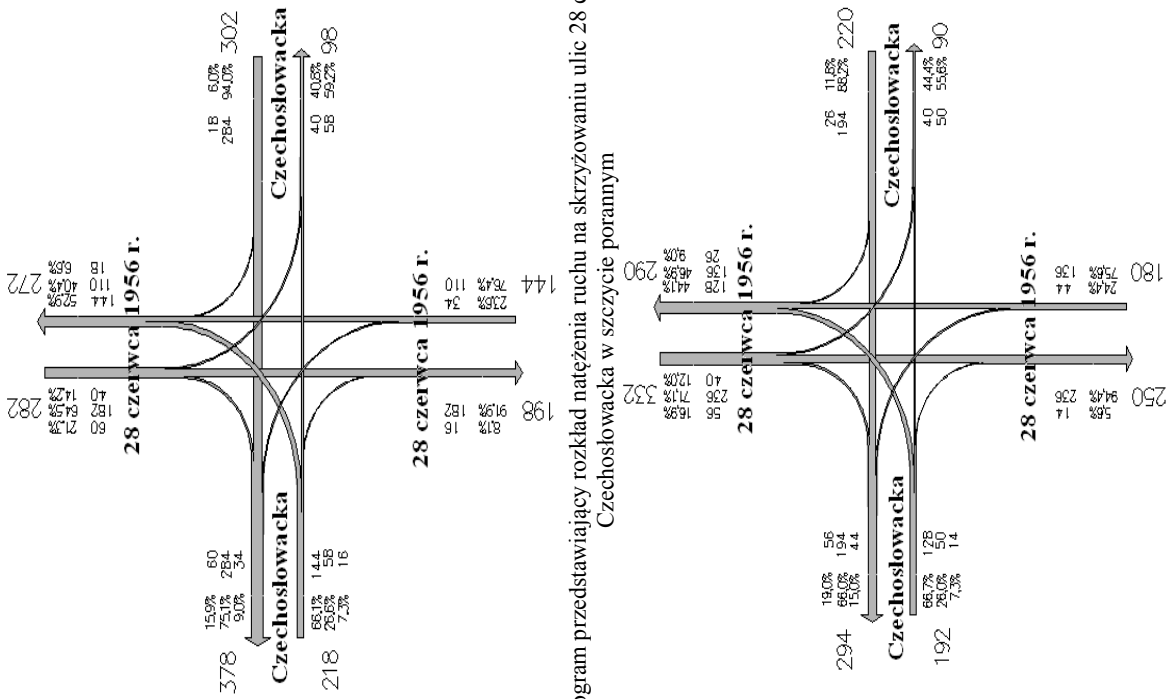
Rys. 46. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Roosevelta/Bukowska w szczycie popołudniowym



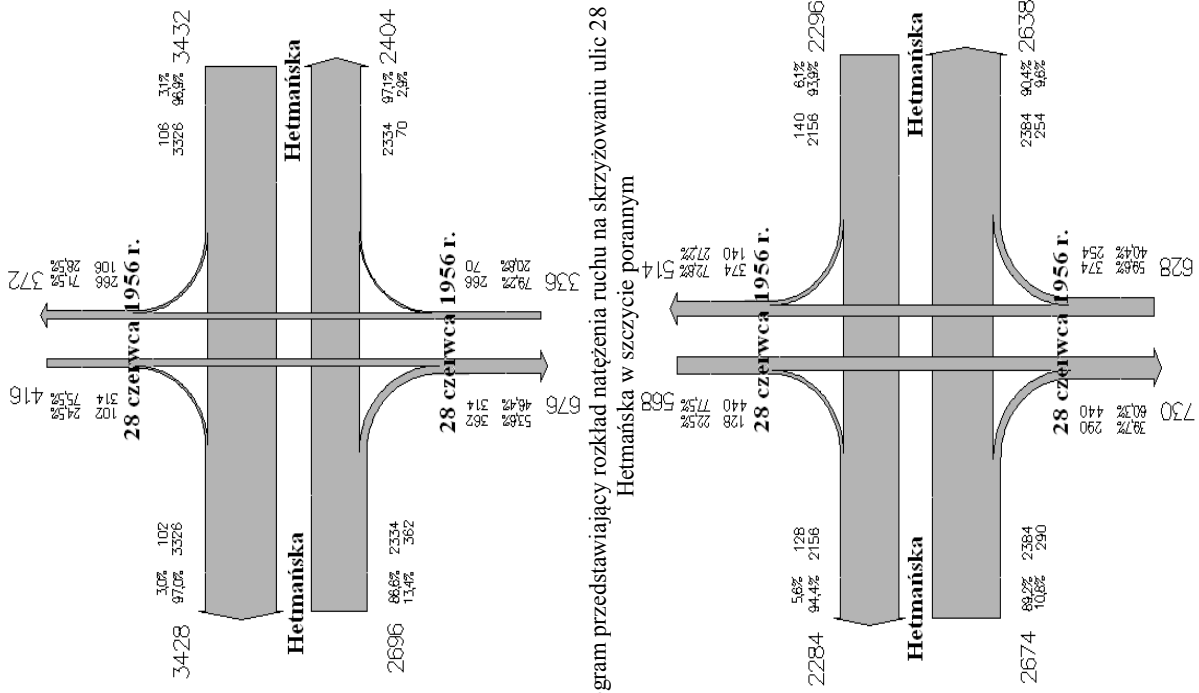
Rys. 47. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic 28 czerwca 1956 r./Dolna Wilda w szczycie porannym



Rys. 48. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic 28 czerwca 1956 r./Dolna Wilda w szczycie popołudniowym



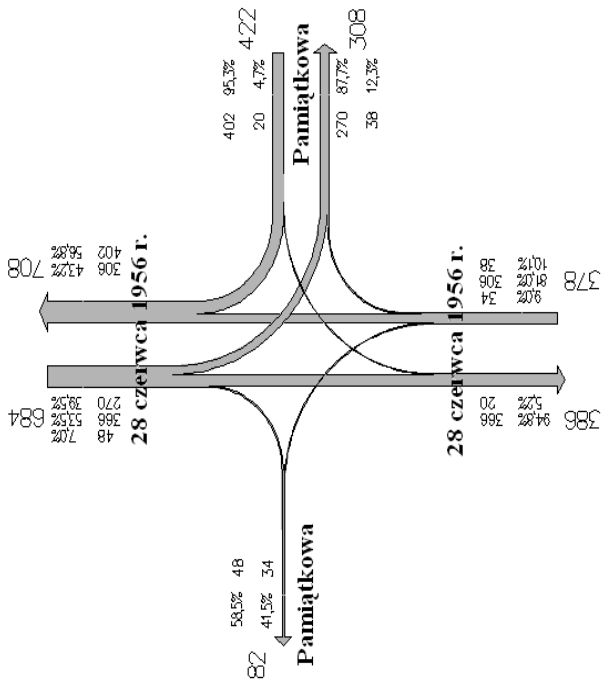
Rys. 49. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic 28 czerwca 1956 r./  
Czesłowska w szczytce porannym



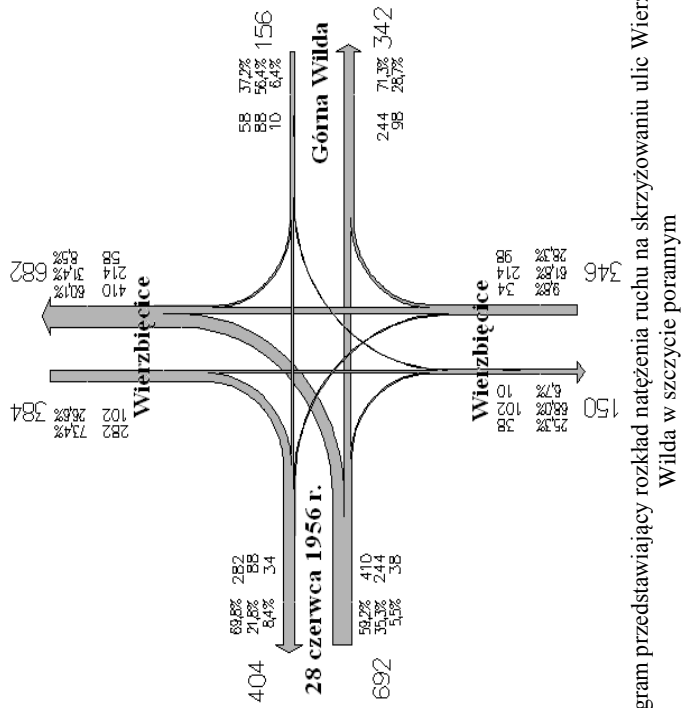
Rys. 51. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic 28 czerwca 1956 r./  
Hetmańska w szczytce porannym

Rys. 50. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic 28 czerwca 1956 r./  
Czesłowska w szczytce popołudniowym

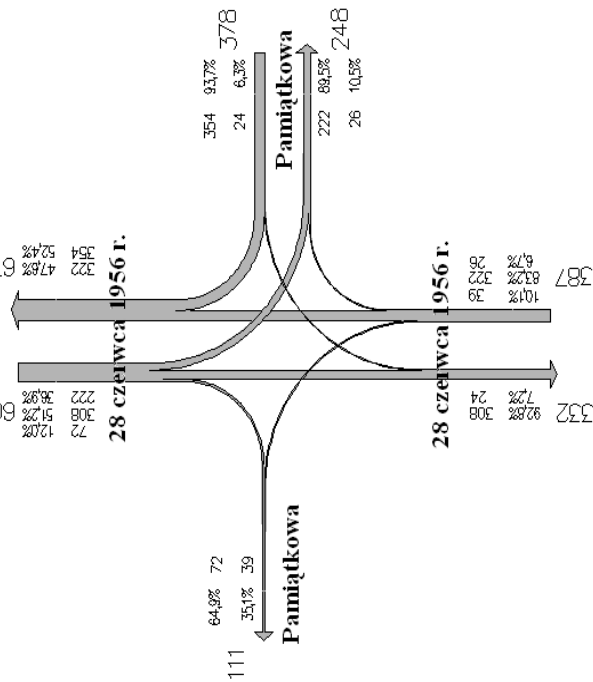
Rys. 52. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic 28 czerwca 1956 r./  
Hetmańska w szczytce popołudniowym



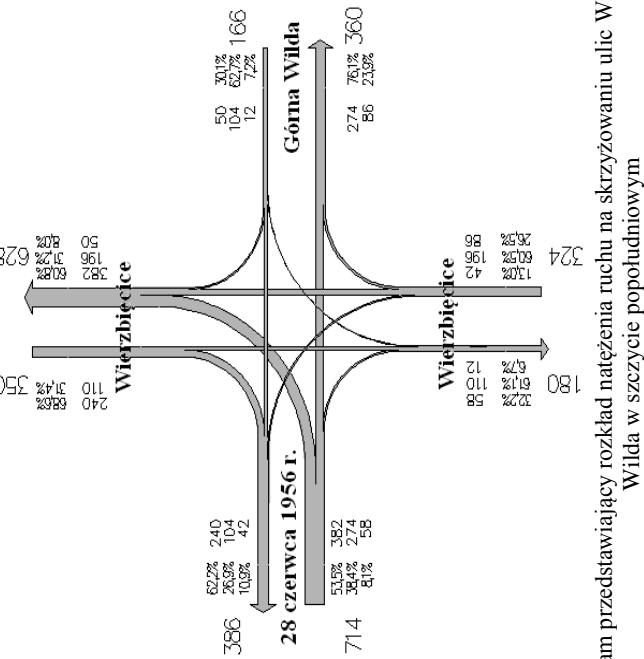
Rys. 53. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic 28 czerwca 1956 r. / Pamiątkowa w szczytce porannym



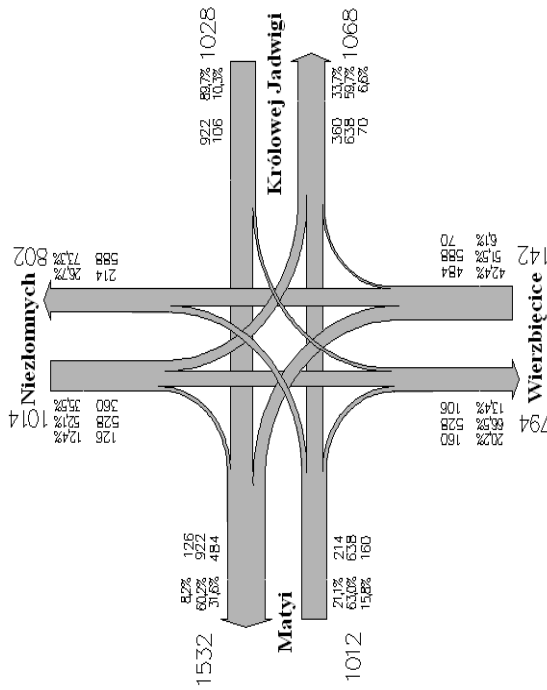
Rys. 55. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Wierzbicie/ Górna Wilda w szczytce porannym



Rys. 54. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic 28 czerwca 1956 r. / Pamiątkowa w szczytce popołudniowym

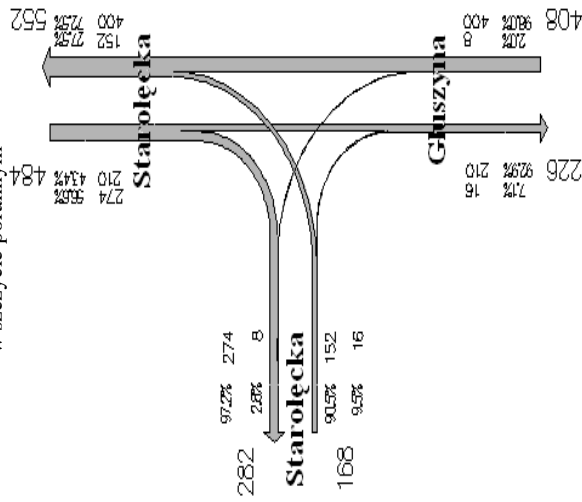
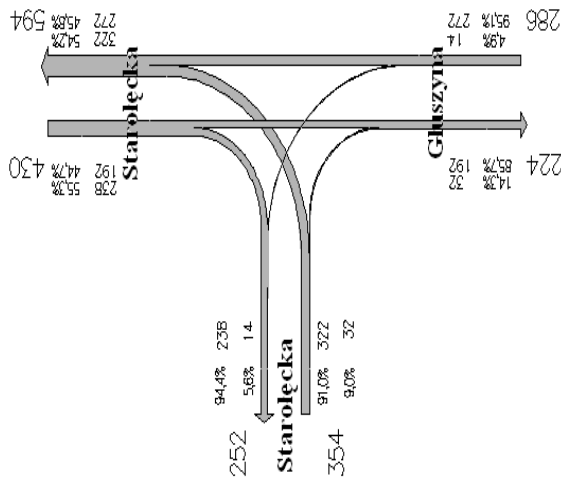


Rys. 56. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Wierzbicie/ Górna Wilda w szczytce popołudniowym

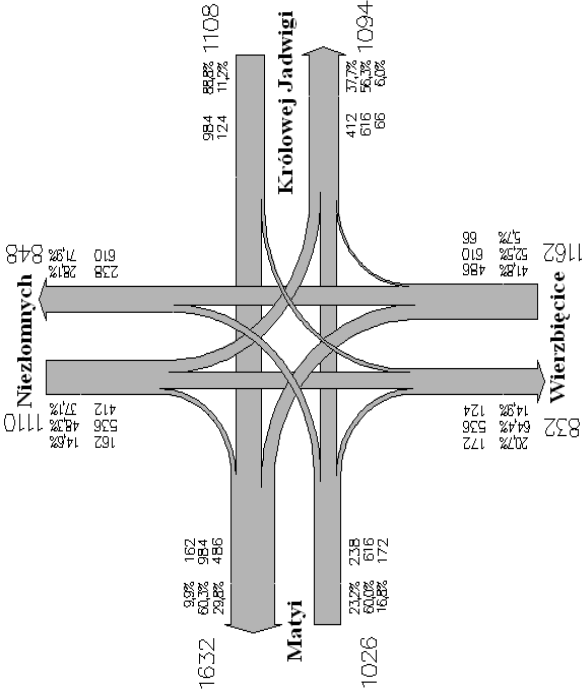


Rys. 57. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Wierzbicęce/ Królowej Jadwigi w szczytce porannym

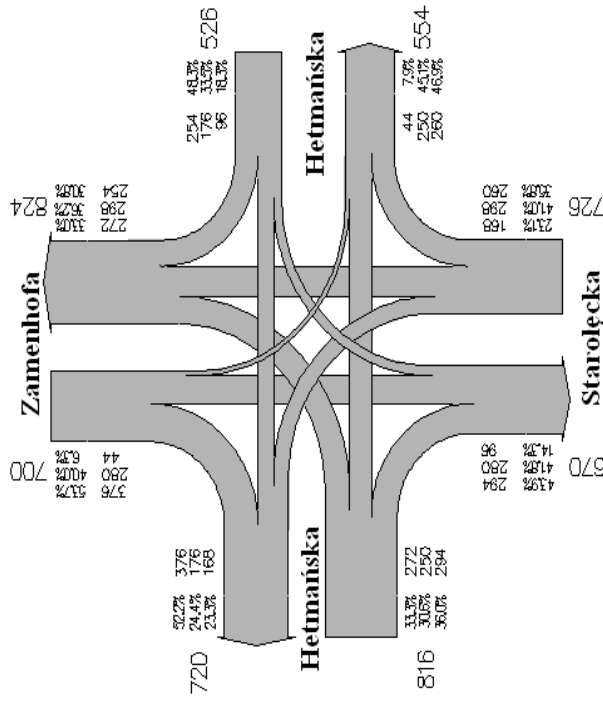
Rys. 59. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Głuszyna/ Staroleśka w szczytce porannym



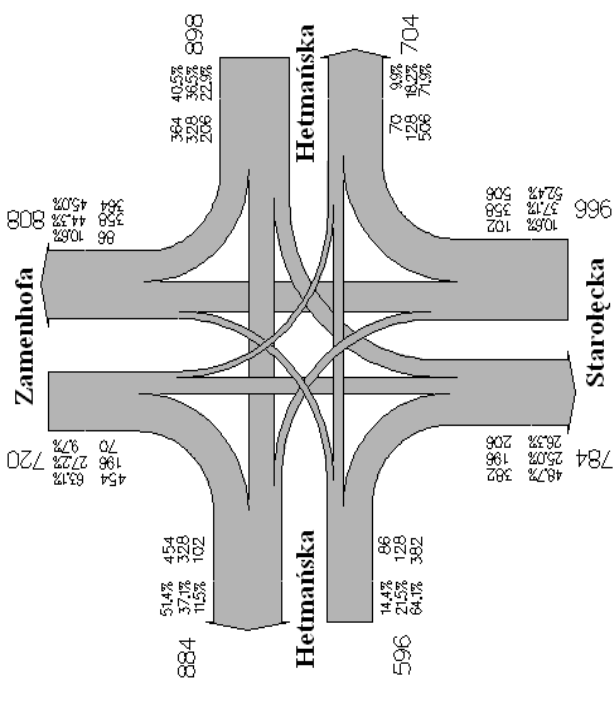
Rys. 60. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Głuszyna/ Staroleśka w szczytce popołudniowym



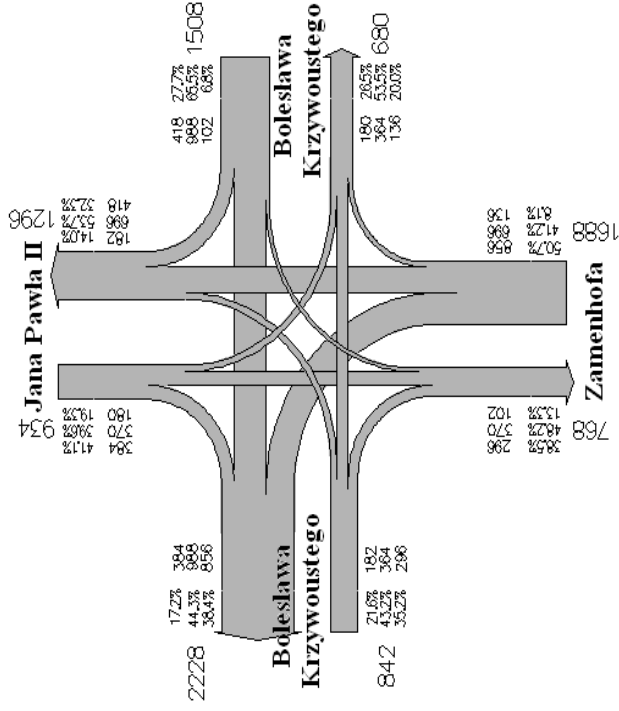
Rys. 58. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Wierzbicęce/ Królowej Jadwigi w szczytce popołudniowym



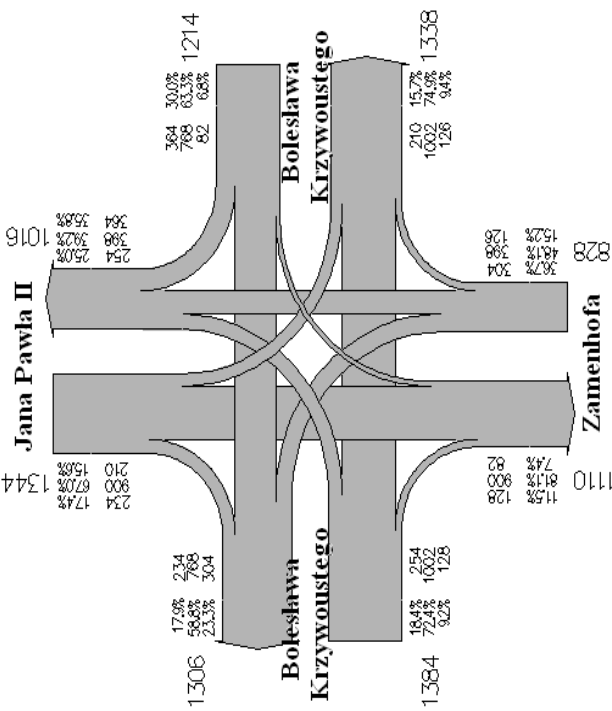
Rys. 61. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Zamenhofska/Hetmańska (Rondo Staroleśka) w szczytce porannym



Rys. 62. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Zamenhofska/Hetmańska (Rondo Staroleśka) w szczytce popołudniowym

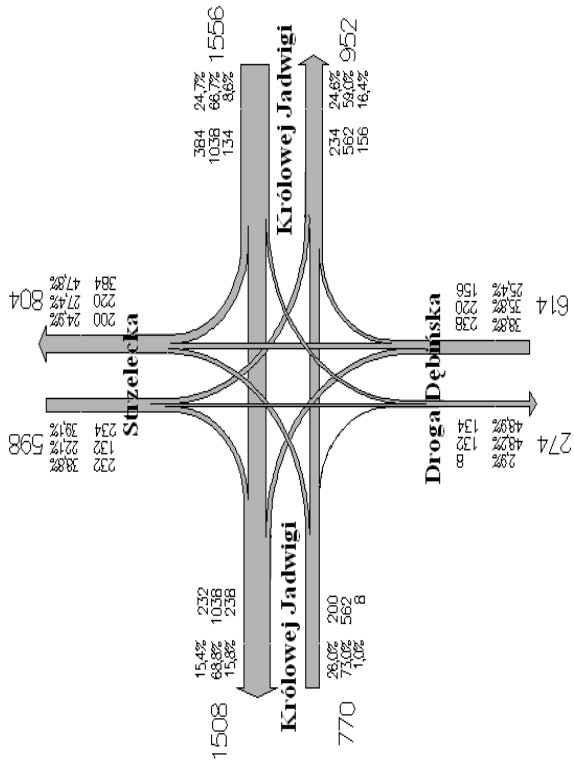


Rys. 63. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Zamenhofska/Bolesława Krzywoustego (Rondo Rataje) w szczytce porannym

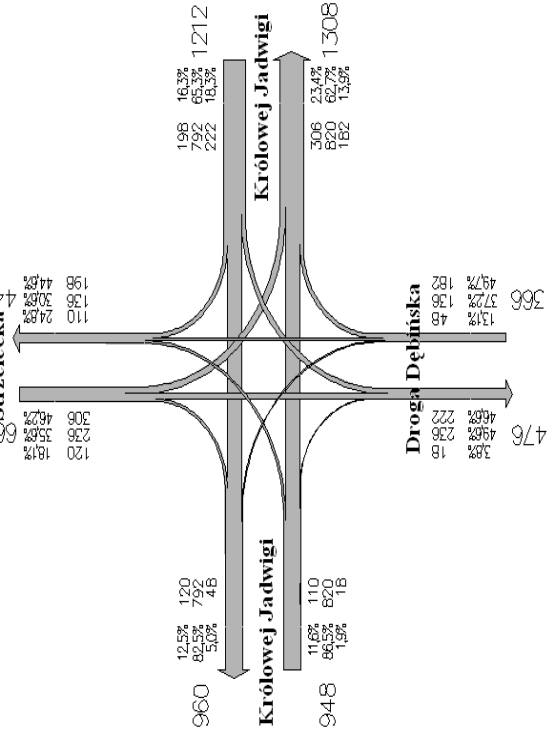


Rys. 64. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Zamenhofska/Bolesława Krzywoustego (Rondo Rataje) w szczytce popołudniowym

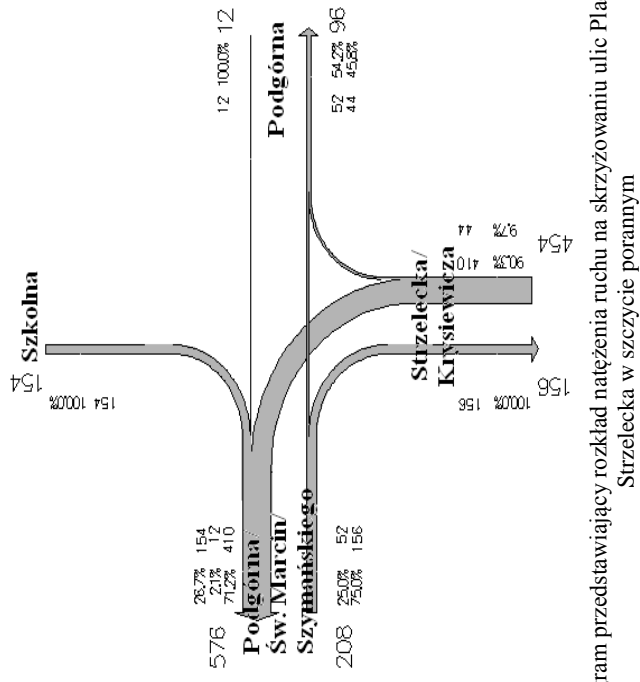




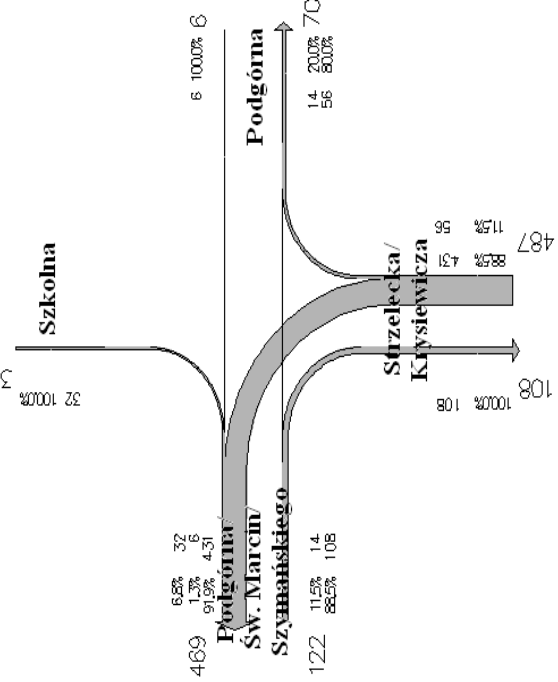
Rys. 65. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Królowej Jadwigi/Strzelecka w szczytce porannym



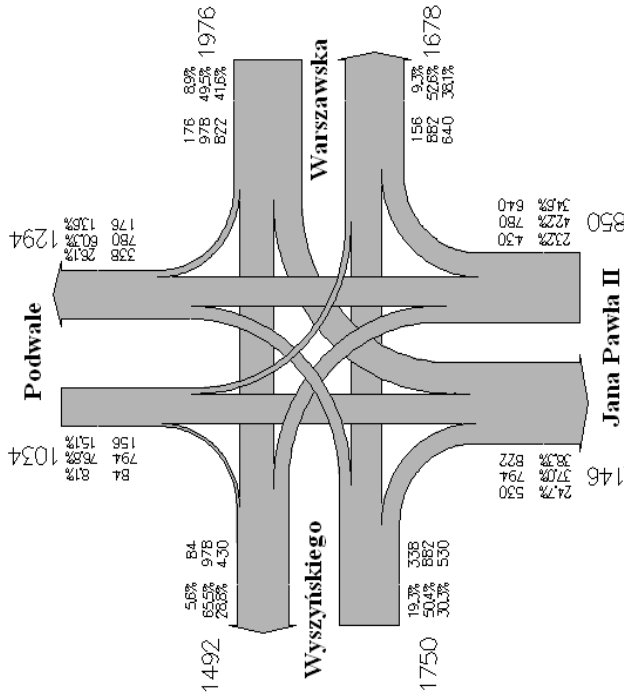
Rys. 66. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Królowej Jadwigi/Strzelecka w szczytce popołudniowym



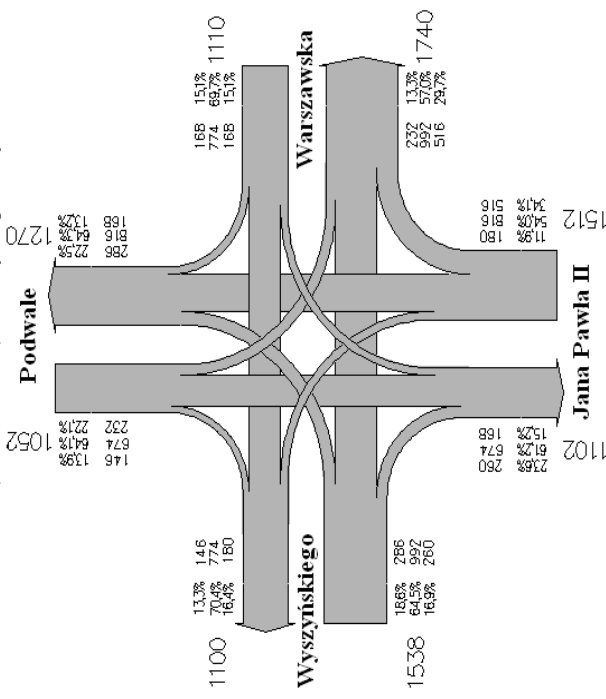
Rys. 67. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Plac Wiosny Ludów/Strzelecka w szczytce porannym



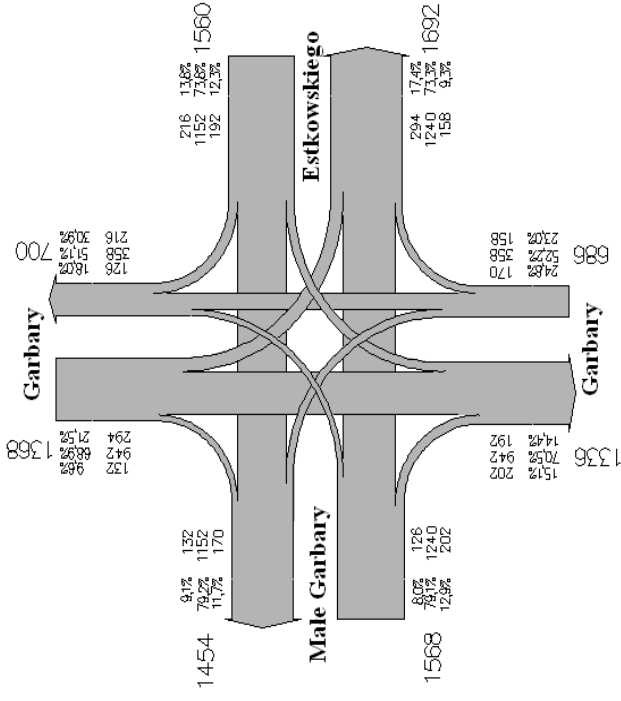
Rys. 68. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Plac Wiosny Ludów/Strzelecka w szczytce popołudniowym



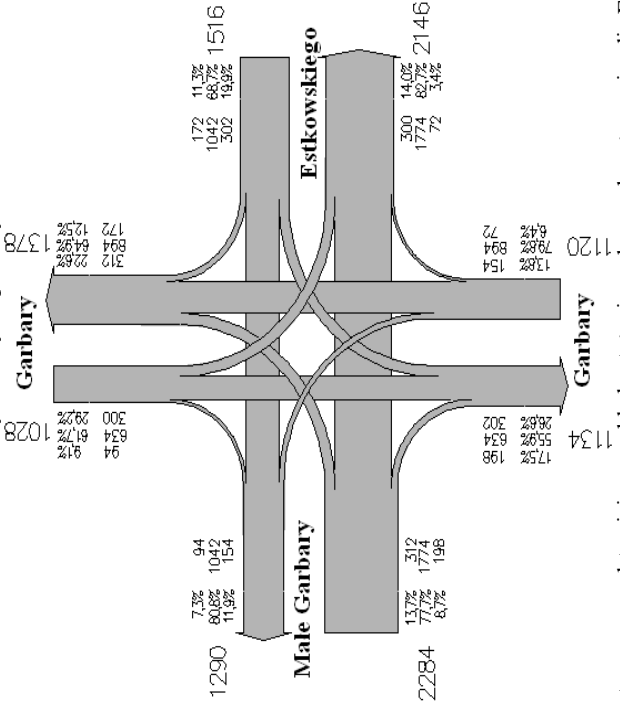
Rys. 69. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Warszawska/ Jana Pawła II (Rondo Śródka) w szczytce porannym



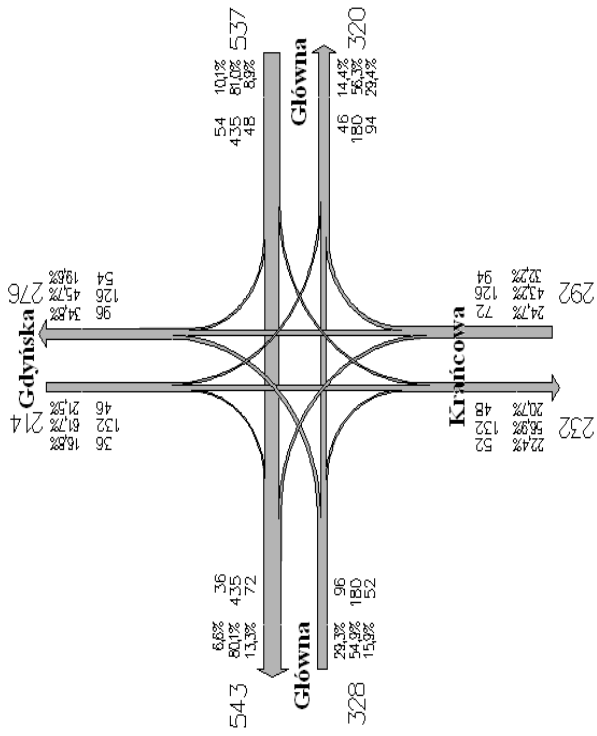
Rys. 70. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Warszawska/ Jana Pawła II (Rondo Śródka) w szczytce popołudniowej



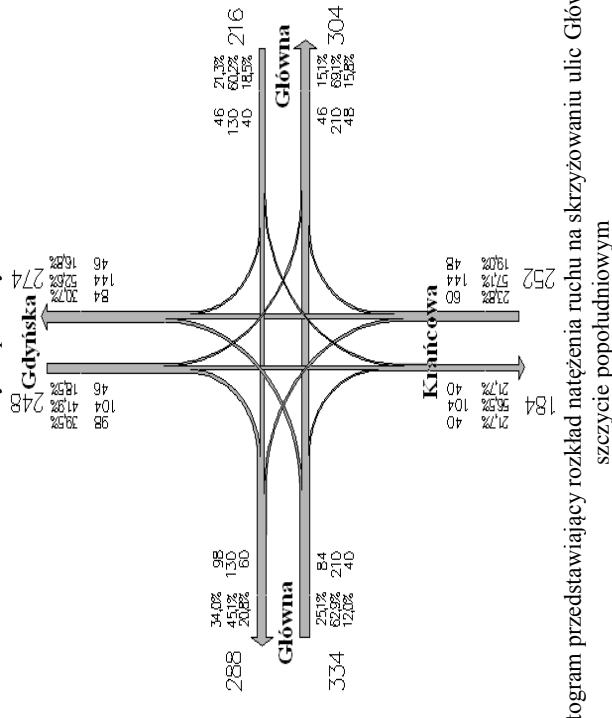
Rys. 71. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Estkowskiego/ Garbary w szczytce porannym



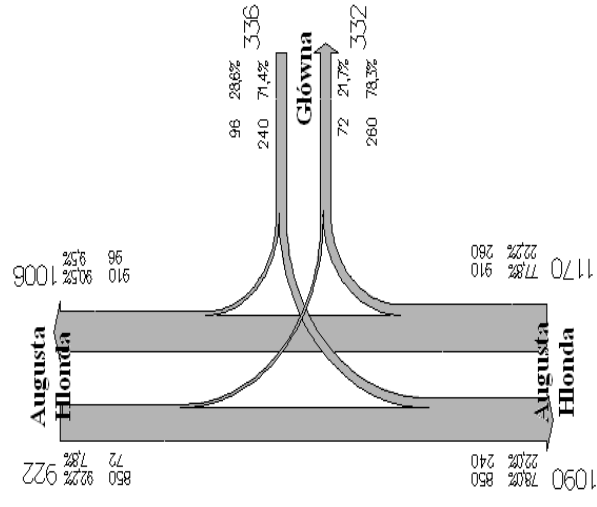
Rys. 72. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Estkowskiego/ Garbary w szczytce popołudniowej



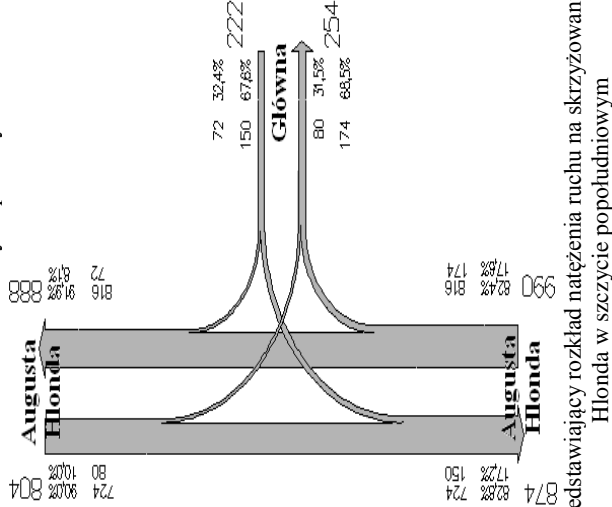
Rys. 73. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Główna/ Gdyńska w szczycie porannym



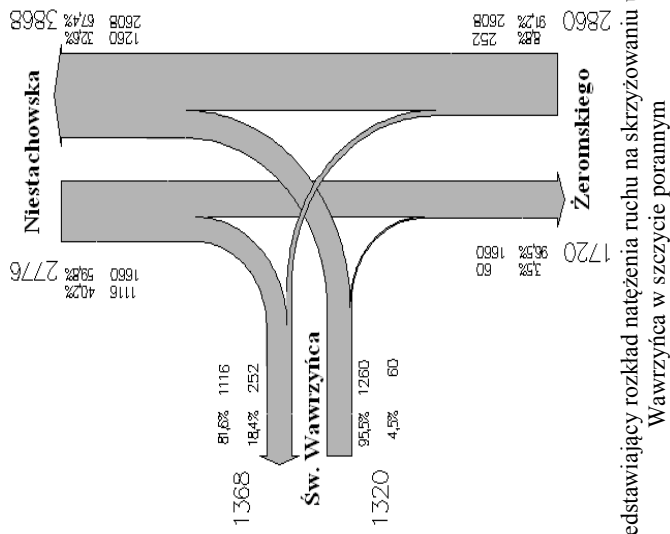
Rys. 74. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Główna/ Gdyńska w szczycie popołudniowym



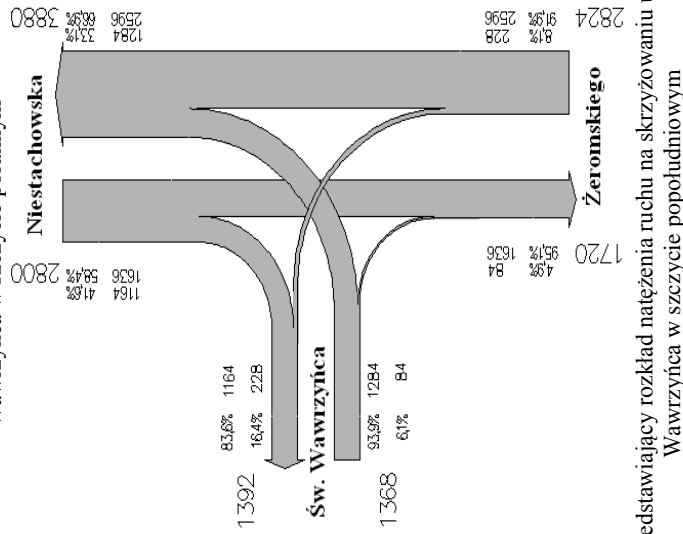
Rys. 75. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Główna/ Augusta w szczycie porannym



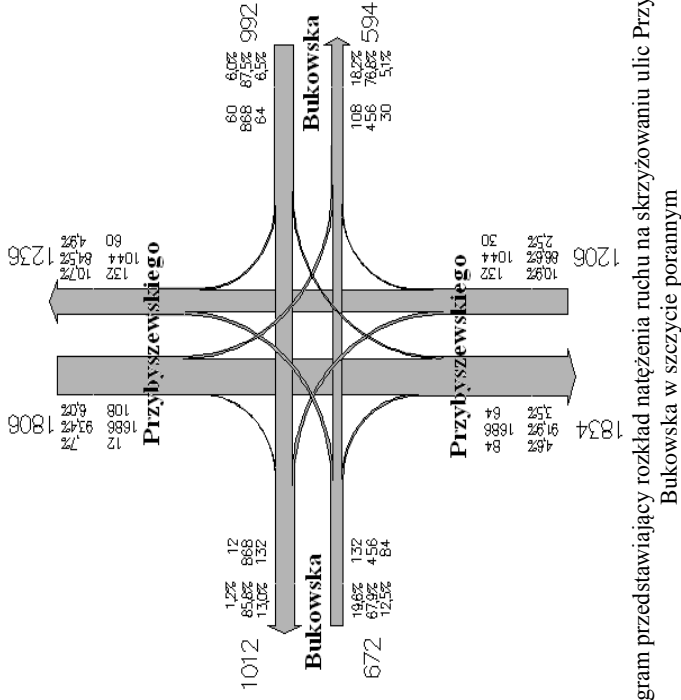
Rys. 76. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Główna/ Augusta w szczycie popołudniowym



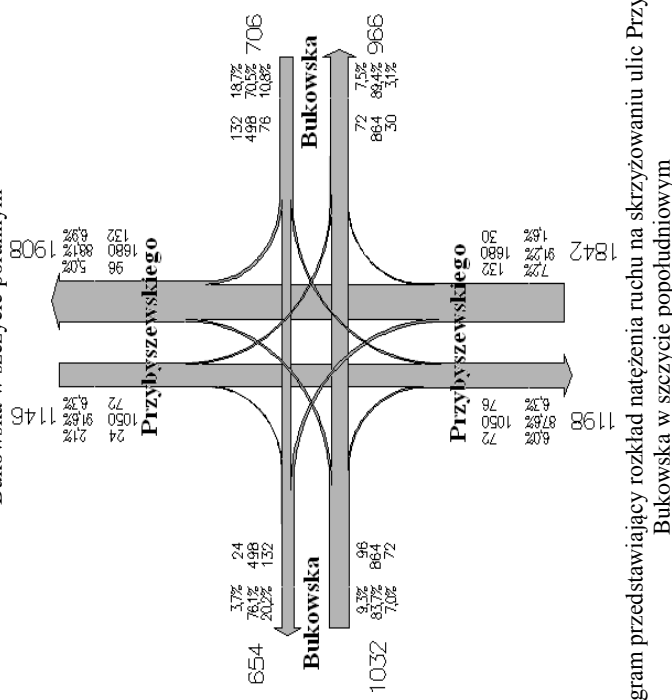
Rys. 77. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Niestachowska/ Św. Wawrzyńca w szczycie porannym



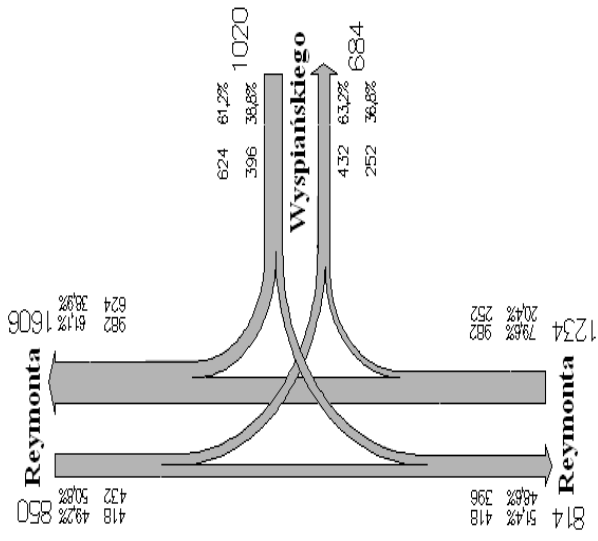
Rys. 78. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Niestachowska/ Św. Wawrzyńca w szczycie popołudniowym



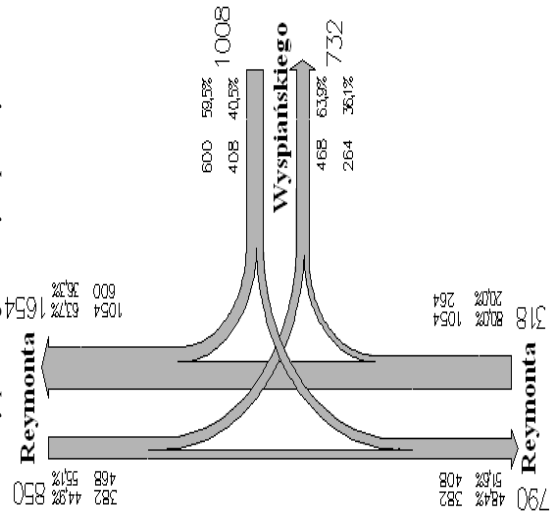
Rys. 79. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Przybyszewskiego/ Bukowska w szczycie porannym



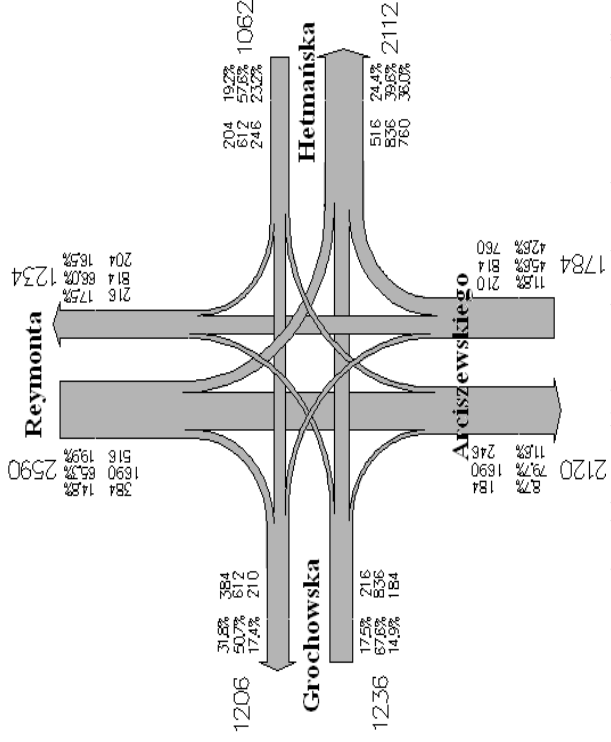
Rys. 80. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Przybyszewskiego/ Bukowska w szczycie popołudniowym



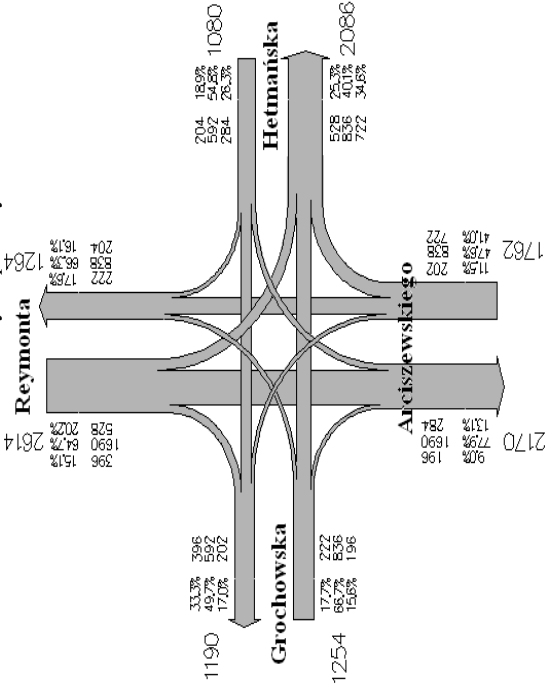
Rys. 81. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Reymonta/Wyspiańskiego w szczycie porannym



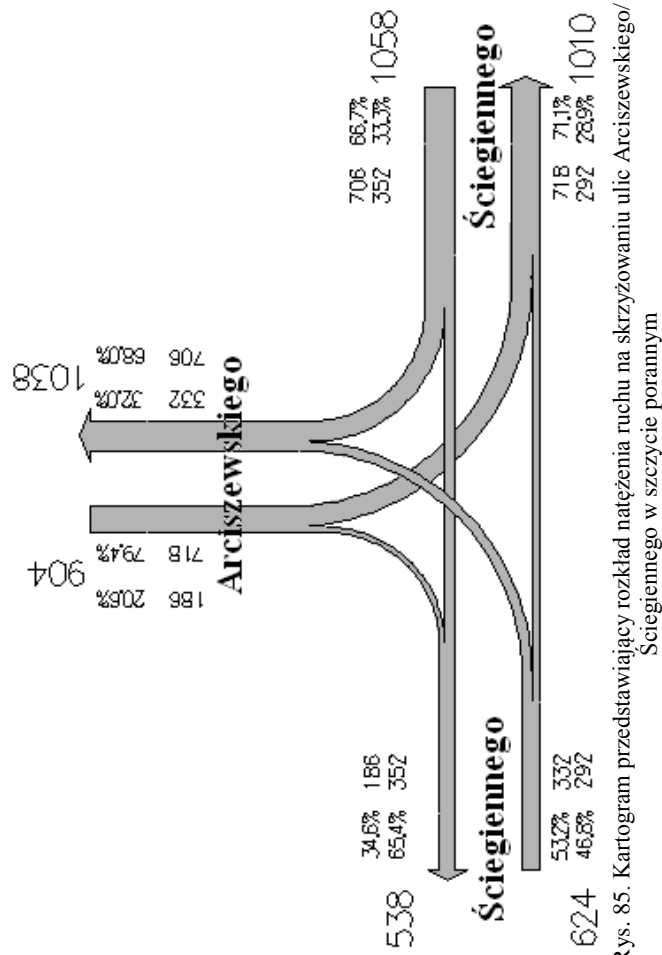
Rys. 82. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Reymonta/Wyspiańskiego w szczycie popołudniowym



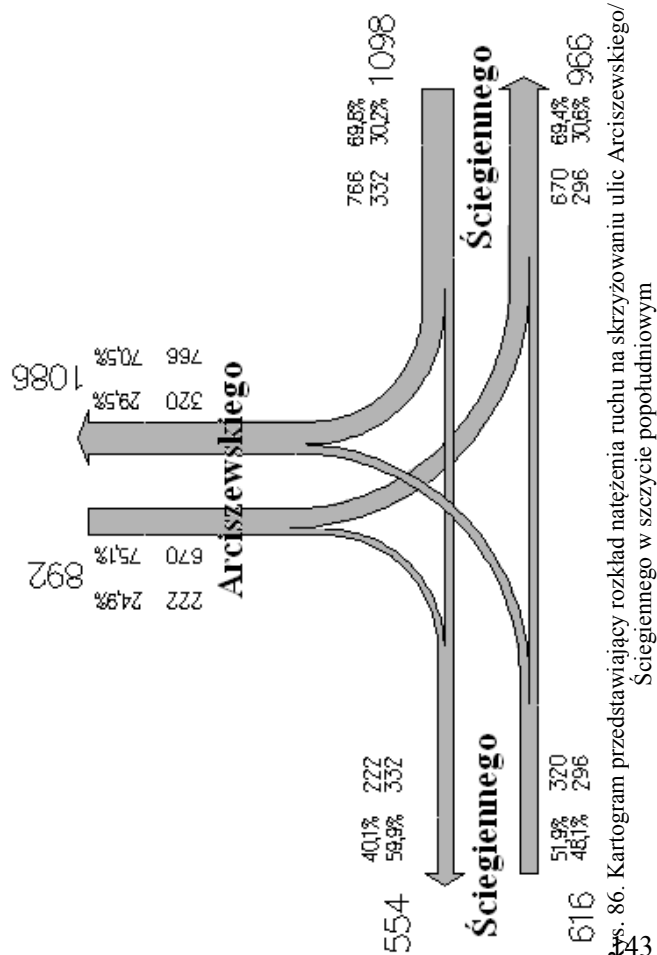
Rys. 83. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Reymonta/Hetmańska w szczycie porannym



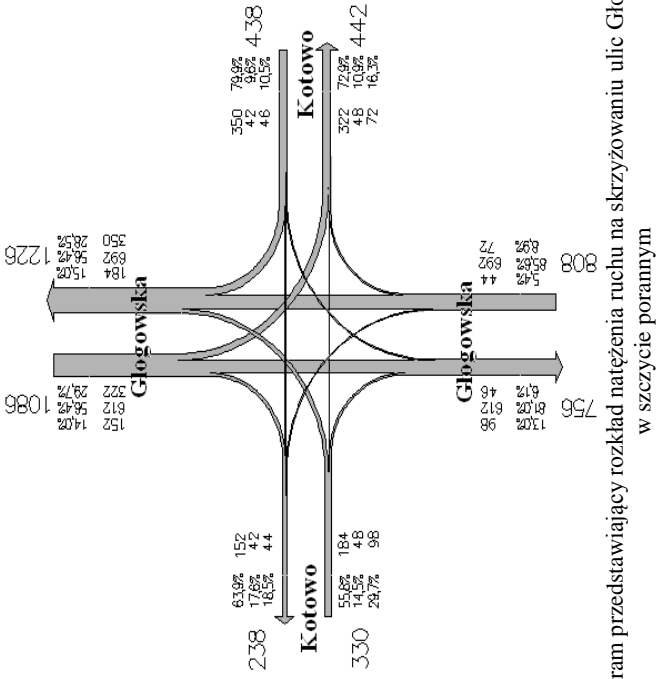
Rys. 84. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Reymonta/Hetmańska w szczycie popołudniowym



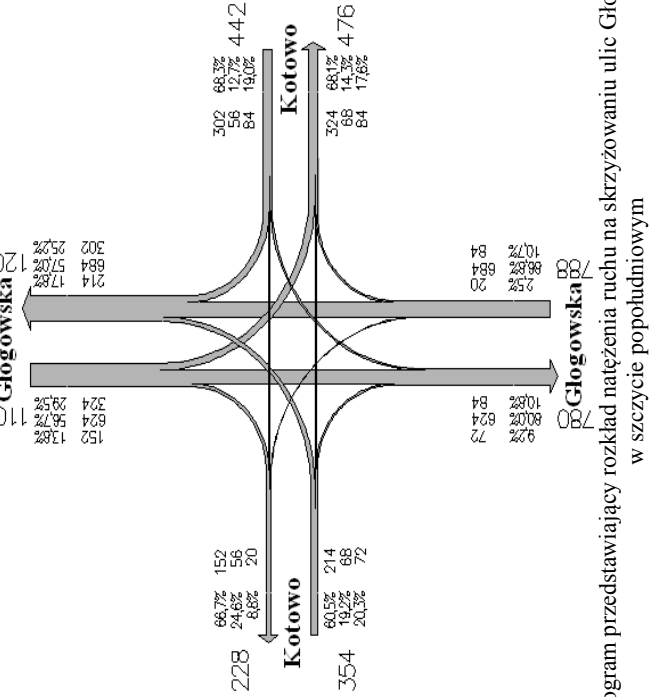
Rys. 85. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Arciszewskiego/ Ściegiennego w szczycie porannym



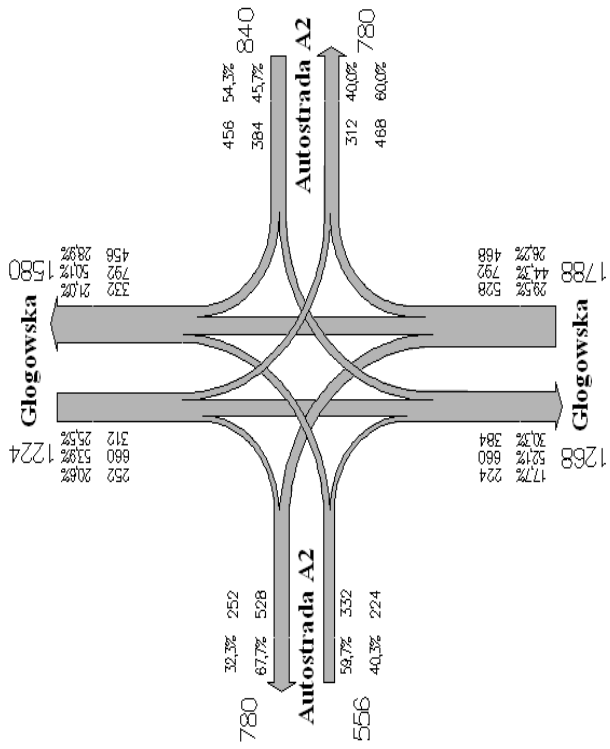
Rys. 86. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Arciszewskiego/ Ściegiennego w szczycie popołudniowym



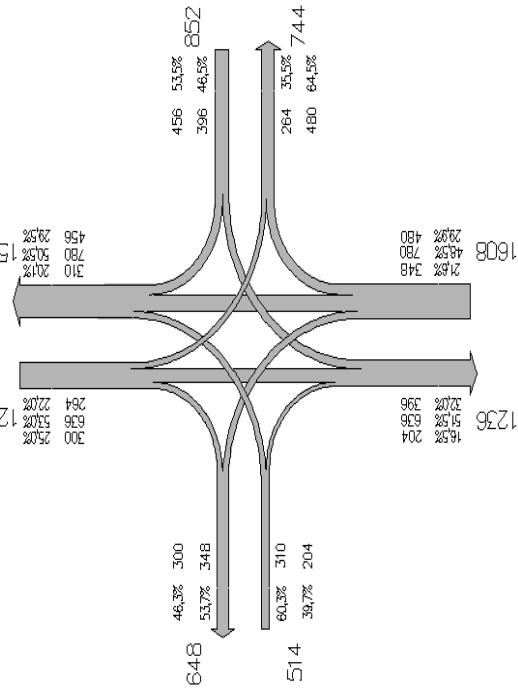
Rys. 87. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Głogowska/ Kotowo w szczycie porannym



Rys. 88. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu ulic Głogowska/ Kotowo w szczycie popołudniowym



Rys. 89. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu Węzeł Komorniki w szczytce porannym



Rys. 90. Kartogram przedstawiający rozkład natężenia ruchu na skrzyżowaniu Węzeł Komorniki w szczytce popołudniowym