

# Komputerowe wspomaganie modelowania ruchu w planach zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego – doświadczenia niemieckie<sup>1,2</sup>

**PIOTR CUPRYJAK**

mgr inż., PTV Group Zimmerstraße 67,  
10117 Berlin  
piotr.cupryjak@ptvgroup.com

**MARIUSZ WASIAK**

dr hab. inż., Politechnika  
Warszawska, Wydział Transportu  
ul. Koszykowa 75,  
00-662 Warszawa,  
mwa@wt.pw.edu.pl

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wybrane niemieckie praktyki wykorzystywania modelowania ruchu dla potrzeb opracowywania planów zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego (zwanego potocznie planem transportowym). Modele ruchu wspierają pracę planisty na różnych etapach tworzenia planu transportowego. We wstępie wymieniono uwzględniane w planach transportowych kryteria oceny systemu transportu publicznego oraz pokazano schematycznie przykładową strukturę planu transportowego. W głównej części artykułu przedstawiono praktyczne możliwości wykorzystania środowiska VISUM do modelowania ruchu. Pierwszym etapem modelowania ruchu jest wykonanie modelu sieci odwzorowującego sieć komunikacyjną badanego obszaru. Po naniesieniu na tę sieć rozkładów jazdy środków komunikacji publicznej w środowisku VISUM możliwe jest graficzne jej zobrazowanie oraz wyznaczenie charakterystyk systemu transportowego. W kolejnym etapie modelowania badany obszar dzielony jest na rejony komunikacyjne, do których przypisywane są pewne charakterystyki. W narzędziach informatycznych klasy VISUM charakterystyki te można przedstawiać graficznie, nadając rejonom różne kolory lub na wykresach. Ważną funkcjonalnością aplikacji do modelowania ruchu jest możliwość szybkiego wyznaczenia dostępności transportowej, która determinuje jakość oferty przewozowej. Prognoza potrzeb przewozowych wraz z rozkładem potoków ruchu na sieć transportową jest ostatnim etapem modelowania. Jakość wykonania wszystkich etapów modelowania ruchu warunkuje trafność decyzji planistycznych podejmowanych w zakresie rozwoju transportu publicznego, zatem podstawę planu transportowego może stanowić jedynie prawidłowo zbudowany i skalibrowany numeryczny model ruchu.

**Słowa kluczowe:** model ruchu, plan transportowy, publiczny transport zbiorowy

## Wprowadzenie

Plan transportowy jest instrumentem mającym na celu poprawę jakości publicznego transportu zbiorowego (PTZ). W planie tym zawarte są kierunki rozwoju PTZ, określone cele do osiągnięcia i środki, jakimi powinny zostać zrealizowane.

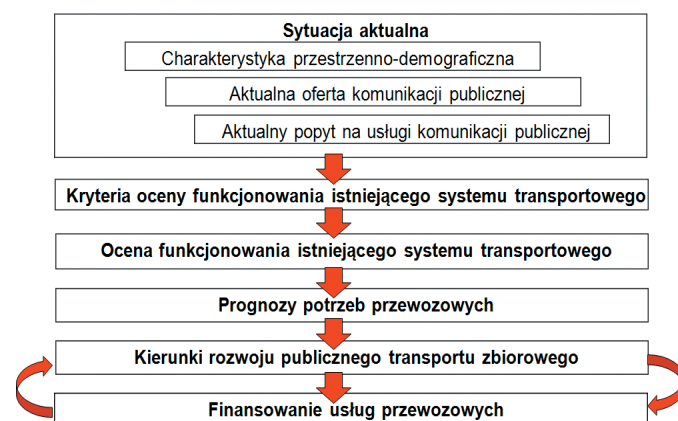
Przykładową strukturę niemieckiego planu transportowego przedstawiono schematycznie na rysunku 1.

W Polsce zakres planu transportowego określony został w Ustawie o publicznym transporcie zbiorowym [2]. Z treści tej ustawy wynika, że plan transportowy powinien zawierać m.in. następujące elementy:

- sieć komunikacyjna, na której jest planowane wykonywanie przewozów o charakterze użyteczności publicznej;
- ocena i prognozy potrzeb przewozowych;
- przewidywane finansowanie usług przewozowych;
- preferencje dotyczące wyboru rodzaju środków transportu;
- zasady organizacji rynku przewozów;
- pożądany standard usług przewozowych w przewozach o charakterze użyteczności publicznej;
- przewidywany sposób organizowania systemu informacji dla pasażera;
- kierunki rozwoju publicznego transportu zbiorowego.

Rozporządzenie ministra infrastruktury [3] dzieli zawartość planu transportowego na część graficzną i tekstową oraz precyzuje zawartość tego planu. Na przykład, w zakresie opisu pożądanego standardu usług przewozowych w przewozach o charakterze użyteczności publicznej rozporządzenie to wprowadza konieczność określenia standardu przewozów i jakości usług przewozowych przy uwzględnieniu potrzeby zapewnienia:

- ochrony środowiska naturalnego,
- dostępu osób niepełnosprawnych oraz osób o ograniczonej zdolności ruchowej do publicznego transportu zbiorowego,
- dostępności podróży do infrastruktury przystankowej.



Rys. 1. Przykładowa struktura niemieckiego planu transportowego  
Źródło: opracowanie własne

<sup>1</sup> © Transport Miejski i Regionalny, 2014. Wkład autorów w publikację: P. Cupryjak 70% M. Wasiaak 30%.

<sup>2</sup> Artykuł opracowano na podstawie referatu wygłoszonego na IX konferencji naukowo-technicznej „Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia komunikacyjnego”, Poznań–Rosnówek, 19–21 VI 2013 r.

Na podstawie niemieckich długoletnich doświadczeń<sup>3</sup> autorzy referatu przedstawili możliwości wykorzystania wybranego narzędzia do modelowania ruchu w celu fachowego opracowania opisanych elementów planu transportowego. Współczesne programy do modelowania ruchu znacznie ułatwiają i przyspieszają modelowanie systemów transportowych oraz analizy rozkładu potoku ruchu na elementy sieci transportowej dla różnych wariantów jej ukształtowania i dla różnych założeń dotyczących transportu zbiorowego.

### Przykłady wykorzystania aplikacji VISUM do modelowania ruchu w planach transportowych

Numeryczne modelowanie ruchu znajduje szerokie zastosowanie w tworzeniu planów transportowych. Model sieci umożliwia przedstawienie rzeczywistej sieci komunikacyjnej wraz z aktualnym przebiegiem poszczególnych tras i linii komunikacyjnych. Podział obszaru na rejony komunikacyjne umożliwia odwzorowanie charakterystyk poszczególnych części tego obszaru, zwłaszcza w zakresie zadań przewozowych. Poprzez przypisanie do rejonów komunikacyjnych odpowiednich wartości graficzny edytor numerycznego modelu sieci umożliwia interaktywną modyfikację wszystkich jej obiektów. Numeryczne modele ruchu wykorzystywane są również do prognozowania potrzeb przewozowych i przestrzennego rozkładu potoku ruchu.

Działania przewidziane do realizacji w ramach planu transportowego podlegają procesowi konsultacji społecznych. Ze względu na to, że konsultacje te powinny zostać przeprowadzone według następujących zasad: jawność, publiczny charakter, równość i otwartość [4], ważne jest, aby treści zawarte w planie transportowym były prezentowane czytelnie i zrozumiale dla wszystkich zainteresowanych.

### Sieć komunikacyjna

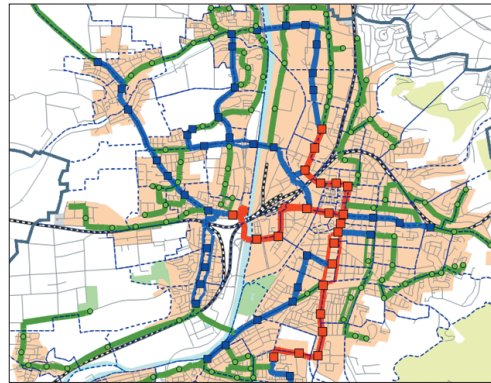
Aplikacje do modelowania ruchu wyposażone są w funkcje importu bazy danych GIS. Umożliwia to zaimportowanie do modelu sieci transportowej odwzorowującej układ drogowo-uliczny oraz infrastrukturę szynową w granicach badanego obszaru. Każdemu z odcinków przyporządkowane są parametry odwzorowujące m.in.:

- rodzaj połączenia – drogowe, kolejowe;
- prędkość w ruchu swobodnym i zdolność przepustową połączenia;
- klasę i szerokość drogi;
- wielkość natężenia ruchu w punktach pomiarowych.

Dysponując siecią transportową odwzorowaną w aplikacji do modelowania ruchu klasy VISUM, można zaimportować w niej elektroniczny rozkład jazdy zawierający wszystkie linie komunikacji publicznej, które obsługują dany obszar. Należy przy tym uwzględnić rozkłady jazdy obowiązujące w dni powszednie, w soboty oraz w niedziele i święta. Po wprowadzeniu tych informacji do numerycznego modelu ruchu, korzystając z programu VISUM, można wyznaczyć m.in. długości tras i linii komunikacyjnych, gę-

stość sieci i przystanków lub dworców, liczbę pojazdów niezbędnych do obsłużenia oferty przewozowej, czasy przejazdu oraz częstotliwości kursowania pojazdów.

Odwzorowaną w środowisku VISUM sieć komunikacyjną miasta Heilbronn przedstawiono na rysunku 2. Kolorem czarnym zaznaczone zostały główne ciągi komunikacyjne tego miasta. Kolorem czerwonym zaznaczone zostały główne ciągi komunikacyjne tego miasta, kolorem niebieskim uzupełniające ciągi komunikacyjne, a kolorem zielonym ciągi komunikacyjne linii dowozowych.



Rys. 2. Sieć komunikacyjna miasta Heilbronn  
Źródło: [5]

Dla poszczególnych klas ciągów komunikacyjnych definiowane są standardy częstotliwości kursowania. Przykładowo na terenie miasta Heilbronn dla głównych ciągów komunikacyjnych wymagany jest dziesięciominutowy takt w godzinach szczytu, piętnastominutowy takt w godzinach międzyszczytowych oraz trzydziestominutowy takt w godzinach pozaszczytowych. Takty kursowania środków transportu zbiorowego adekwatne do zapotrzebowania zostały zdefiniowane także dla pozostałych relacji.

### Determinanty rozwoju sieci publicznego transportu zbiorowego

Czynniki determinujące rozwój sieci publicznego transportu zbiorowego uwzględniane w PTZ to przede wszystkim obecna gęstość zaludnienia i prognoza jej zmian, jak również lokalizacja i potencjał absorpcyjny ośrodków edukacyjnych, zakładów pracy oraz miejsc spędzania wolnego czasu. Te oraz inne czynniki uwzględniane w danym PTZ, przy wykorzystaniu VISUM, mogą być przedstawione w sposób graficzny. Właściwa wizualizacja danych w tym zakresie poprawia ich czytelność oraz ułatwia oszacowanie wpływu na transport zmian prognozowanych dla poszczególnych czynników.

Do wizualizacji czynników determinujących rozwój sieci PTZ wykorzystywane mogą być rejony komunikacyjne, do których można przypisać dowolną liczbę danych. Na potrzeby odwzorowania determinant rozwoju PTZ może być wykorzystany interfejs transferu danych z programów MS Office. VISUM umożliwia transfer danych m.in. z oraz do Excela lub Accessa. Natomiast grafiki mogą zostać zapisane w formacie \*.jpg lub \*.pdf.

Uwzględniając powyższe, opracowanie planu rozwoju PTZ dla danego obszaru wymaga wzięcia pod uwagę szere-

<sup>3</sup> W Niemczech plany transportowe są opracowywane od 1996 roku.

gu czynników mających wpływ na obecne i przyszłe potrzeby przewozowe oraz możliwości ich zaspokajania. Spośród tych czynników najczęściej uwzględniane są:

- gęstość zaludnienia;
- prognoza demograficzna (rys. 3);
- współczynnik motoryzacji oraz prognoza jego zmian;
- liczba miejsc pracy (rys. 4) oraz obecny i przyszły poziom bezrobocia;
- punkty charakterystyczne (POI) definiujące lokalizację w przestrzeni ważnych generatorów ruchu, takich jak szkoły, uczelnie, zakłady pracy, placówki handlowe, obiekty sportowe i rekreacyjne.

**Dostępność do infrastruktury transportowej**

Dostępność do infrastruktury transportowej charakteryzowana jest m.in. przez promień dojazdu do przystanku komunikacji zbiorowej. Determinuje on możliwość skorzystania z transportu publicznego oraz atrakcyjność tego sposobu przemieszczania. Ze względów oczywistych promień dojazdu jest funkcją gęstości zaludnienia, przy czym w obszarach o małej gęstości zaludnienia promienie dojazdu są z reguły większe niż w obszarach o dużej gęstości zaludnienia.

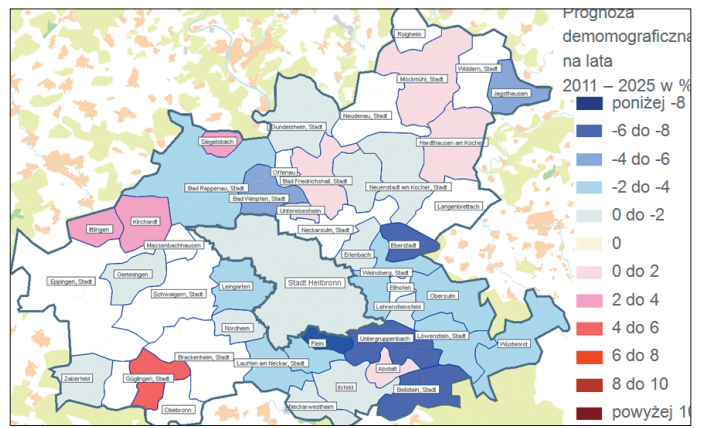
Oceniając dostępność do infrastruktury, należy mieć na uwadze, że zgodnie z zaleceniami Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (pol.: Stowarzyszenia Niemieckich Przedsiębiorstw Komunikacyjnych) każdy mieszkaniec miejscowości liczącej powyżej 200 mieszkańców powinien mieć zapewnione minimalne standardy dostępu do komunikacji zbiorowej. Oznacza to, że przystanki powinny być tak rozmieszczone, aby:

- promień dojazdu do przystanku autobusowego nie przekraczał 400 metrów w ośrodkach centralnych i 600 metrów na terenach wiejskich;
- promień dojazdu do dworca kolejowego nie przekraczał 600 metrów, jeżeli dworzec zlokalizowany jest na terenie ośrodka centralnego i 1000 metrów, jeżeli jest zlokalizowany na terenach wiejskich.

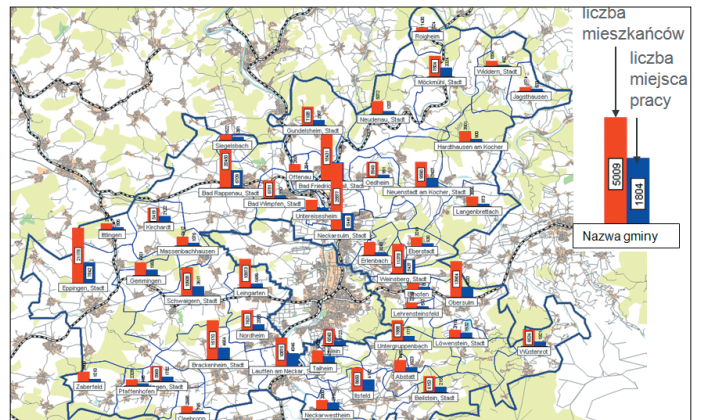
W uzasadnionych przypadkach od tych zasad mogą występować odstępstwa.

Na przykład powiat lipski [6] charakteryzuje się niewielką przeciętną gęstością zaludnienia równą 162 os./km<sup>2</sup>. Oczywiście są w nim rejony o różnej wartości tej charakterystyki. Zgodnie z rysunkiem 5 w powiecie lipskim tylko niewielka część terenów zabudowanych leży poza powyżej zdefiniowanymi promieniami dojazdu. Są to najczęściej bardzo małe miejscowości albo miejscowości o rozproszonej strukturze zabudowy.

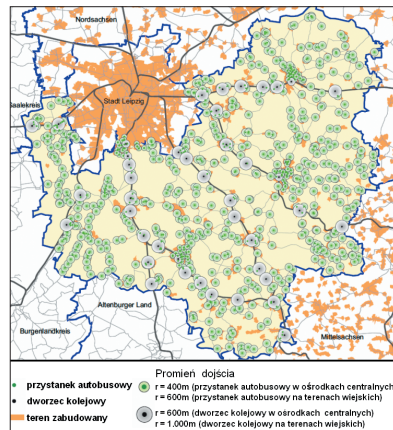
Dla terenów o większej gęstości zaludnienia przyjmuje się mniejsze promienie dojazdu do punktowej infrastruktury transportowej. Jako przykład zilustrowano na rysunku 6 miasto Mainz o gęstości zaludnienia równej 1.958 os./km<sup>2</sup>. Program VISUM daje możliwość zdefiniowania zróżnicowanych promieni dojazdu dla przystanków w ścisłym centrum miast (200 m) i poza nim (300 m), a także dla przystanków kolei regionalnej (600 m).



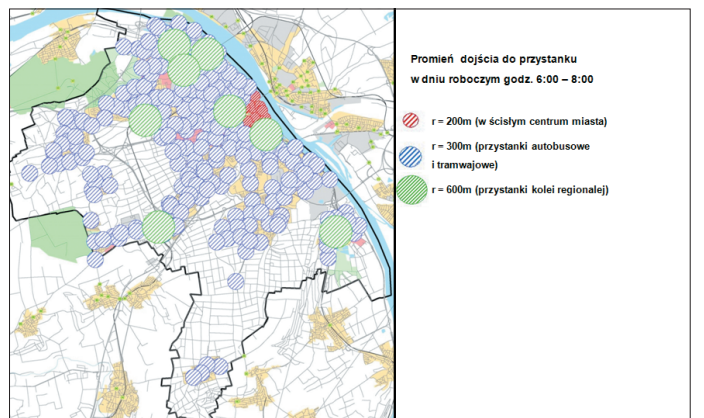
Rys. 3. Prognoza demograficzna w powiecie Heilbronn  
Źródło:[5]



Rys. 4. Liczba miejsc pracy i liczba mieszkańców powiatu Heilbronn  
Źródło:[5]



Rys. 5. Promień dojazdu do przystanku autobusowego / dworca kolejowego  
Źródło:[6]



Rys. 6. Promienie dojazdu do przystanków w mieście Mainz  
Źródło:[7]

Oprócz dostępności do infrastruktury transportowej system transportu publicznego można ocenić, a następnie ukierunkować jego rozwój na podstawie:

- częstotliwości kursowania w godzinach szczytu, między- i pozaszczytowych;
- czasu dojazdu i liczby przesiadek do ośrodków centralnego rządu;
- czasu przesiadki [1].

### Prognoza potrzeb przewozowych oraz rozkładu potoku ruchu

Modele ruchu opracowywane są przede wszystkim z myślą o ich zastosowaniu do prognozowania potrzeb przewozowych oraz podziału zadań przewozowych i przestrzennego rozkładu potoku ruchu.

Na wielkość potoków pasażerskich ma wpływ wiele czynników, w tym np. częstotliwość kursowania środków komunikacji publicznej, dostępność do infrastruktury transportowej, czas podróży, cena biletu, współczynnik motoryzacji oraz liczba ludności. Budując model matematyczny opisujący zmianę wielkości potoków ruchu w roku prognozowanym, należy uwzględnić czynniki mające największy wpływ na popyt. W tym celu poszukiwane są złożone zależności analityczne między wymienionymi czynnikami a zapotrzebowaniem na przewóz, jak również zależności pozwalające wyznaczyć podział zadań przewozowych.

Ostatnią fazą prognozowania transportu jest przestrzenny rozkład potoku ruchu na sieci transportowej. W środowisku VISUM zaimplementowanych zostało wiele modeli, które umożliwiają wyznaczenie obciążenia elementów systemu transportowego. Przykładowe wyniki rozkładu potoków ruchu na sieć transportową, które wynikają z prognozowanych potrzeb przewozowych, przedstawiono graficznie na rysunku 7. W celu wygenerowania czytelnej grafiki, gęsta sieć autobusowa została ustawiona jako pasywna. Przedstawiono obciążenie tylko sieci kolejowej.

### Wnioski

W Polsce obowiązek korzystania z planów transportowych został wprowadzony Ustawą o publicznym transporcie zbiorowym, która weszła w życie 1 marca 2011 roku. Natomiast w Niemczech plany te są opracowywane od

1996 roku. Zatem dłuższe o 15 lat doświadczenia niemieckie w zakresie tworzenia planów transportowych mogą i powinny być brane pod uwagę także w Polsce przy opracowywaniu planów transportowych. Jednymi z podstawowych doświadczeń w tym zakresie są opisane w artykule doświadczenia zgromadzone podczas opracowywania numerycznych modeli ruchu spełniających wymagania określone dla planów transportowych.

Tworząc plany zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego, należy pamiętać, że współczesne programy do modelowania ruchu, takie jak VISUM, mogą znacznie ułatwić i przyspieszyć prace oraz, co najważniejsze, pozwalają uzyskać wiarygodną ocenę skutków zakładanych w tych planach zmian w otoczeniu społeczno-gospodarczym i w ofertach przewozowych.

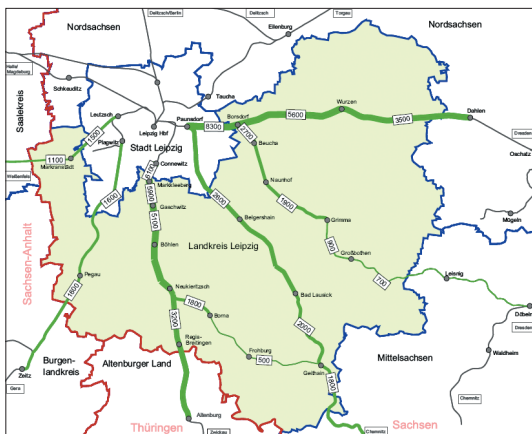
Wyższa jakość modelowania ruchu uzyskiwana dzięki aplikacjom klasy VISUM wymaga implementacji szeregu danych do modelu. Ze względu na zakres tych danych (np. rozkłady jazdy środków komunikacji publicznej) ten etap budowy numerycznego modelu ruchu jest stosunkowo pracochłonny. W kolejnych etapach modelowania program VISUM daje szerokie możliwości interpretacji i analizy wprowadzonych danych. Szybko można wyznaczyć parametry charakteryzujące ofertę przewozową komunikacji publicznej, które bezpośrednio wpływają na jakość usług. Modele numeryczne umożliwiają ocenę różnych wariantów rozwoju PTZ, dostarczają materiałów analitycznych i pomagają w wyborze rozwiązań najbardziej efektywnych.

Istotną funkcjonalnością programu VISUM jest możliwość graficznego przedstawienia charakterystyk badanego obszaru, przebiegów tras, wyników rozkładu potoków ruchu. Taka forma jest czytelniejsza od formy opisowej i dlatego jest właściwa do wykorzystania np. w procesie konsultacji społecznych.

Plany transportowe muszą określać kierunki rozwoju PTZ, które gwarantują uzyskanie akceptowalnych standardów mobilności dla każdego mieszkańca. Wskazane jest zatem ich fachowe opracowanie z wykorzystaniem aktualnych programów do modelowania ruchu, które pozwolą wiarygodnie ocenić spełnienie tych standardów dla różnych wariantów rozwoju PTZ.

### Literatura

1. Krawczyk G., Cupryjak P., *Plany transportowe w Niemczech – ocena funkcjonowania systemu publicznego transportu zbiorowego*, „Technika Transportu Szynowego”, 2011, nr 11.
2. Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym, Dz. U. z 2011 r. Nr 5/2011, poz. 13.
3. Rozporządzenie ministra infrastruktury z dnia 25 maja 2011 r. w sprawie szczegółów zakresu planu zrównoważonego publicznego transportu zbiorowego, Dz. U. Nr 117, poz. 684.
4. Grzelec K., Wyszomirski O., *Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla gmin i związków międzygminnych*, Izba Gospodarcza Komunikacji Miejskiej, Warszawa 2011.
5. Landkreis Heilbronn, Stadt Heilbronn: *Nabverkehrsplan 2013 für den Stadtkreis und den Landkreis Heilbronn*, Heilbronn 2013.
6. Landkreis Leipzig: *Nabverkehrsplan 2010–2015*, Dresden 2010.
7. Stadt Mainz: *Nabverkehrsplan 2006–2011*, Mainz 2006.



Rys. 7. Rozkład potoków ruchu na elementy sieci kolejowej powiatu lipskiego  
Źródło: [6]