

Politechnika Wrocławska  
Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn  
Zakład Logistyki i Systemów Transportowych

# PRACA DOKTORSKA

## Model efektywności systemów eksploatacji transportu sztywnotorowego

Raport serii: PRE nr 3 / 2009

Piotr Czaja

Promotor:

dr hab. inż. Tomasz Nowakowski, prof. nadzw. PW. r.

słowa kluczowe:

efektywność, eksploatacja, sieci sztywnotorowe, infrastruktura  
transportowa, wyłączenie odcinka sieci, objazd

krótkie streszczenie:

W pracy zdefiniowano oraz opisano klasę systemów sztywnotorowych.  
Zaproponowano model oceny efektywności eksploatacji sieci  
sztywnotorowych ze względu na wyłączanie odcinków międzywęzłowych,  
które jest jednym z głównych wyróżników zdefiniowanej klasy systemów.  
Dla proponowanego modelu przeprowadzono przykładową implementację.

Wrocław 2009

Model efektywności  
systemów eksploatacji  
transportu sztywnotorowego

---

**Praca doktorska**

Piotr Czaja

Wykonano w systemie L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X.

Wrocław, 25 października 2009 .

Politechnika Wrocławska

Wydział Mechaniczny

Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn

Zakład Logistyki i Systemów Transportowych

ul. Smoluchowskiego 48, bud. B-8

50-371 Wrocław

# Spis treści

Spis treści . . . . .	3
Streszczenie . . . . .	5
<b>1. Wprowadzenie . . . . .</b>	<b>8</b>
<b>2. Badania literaturowe . . . . .</b>	<b>12</b>
2.1. Określenie kryterium efektywności oceny systemu technicznego . . . . .	12
2.2. Charakterystyka obiektów technicznych systemu transportowego w aspekcie oceny efektywności . . . . .	19
2.3. Wyznaczanie efektywności eksploatacji systemów transportowych . . . . .	28
2.4. Cel pracy . . . . .	42
2.5. Układ i zawartość pracy . . . . .	44
<b>3. Sieci sztywnotorowe . . . . .</b>	<b>46</b>
3.1. Klasyfikacja sieci $kr$ . . . . .	47
3.1.1. Sieci $0r$ . . . . .	47
3.1.2. Sieci $1r$ . . . . .	49
3.1.3. Sieci $2r$ . . . . .	49
3.1.4. Sieci $kr, (k > 2)$ . . . . .	56
3.2. Budowa sieci sztywnotorowych . . . . .	57
3.3. Modelowanie sieci sztywnotorowych . . . . .	62
<b>4. Model oceny efektywności eksploatacji sieci sztywnotorowej . . . . .</b>	<b>68</b>
4.1. Globalna ocena efektywności sieci sztywnotorowej . . . . .	69
4.2. Lokalna ocena efektywności sieci sztywnotorowej . . . . .	91
4.3. Walidacja modelu . . . . .	100
<b>5. Weryfikacja i implementacja modelu . . . . .</b>	<b>120</b>
5.1. Sieć tramwajowa - implementacja modelu sieci sztywnotorowej . . . . .	120
5.1.1. Zdefiniowanie problemu . . . . .	121
5.1.2. Identyfikacja systemu . . . . .	130
5.1.3. Projektowanie modelu systemu . . . . .	137
5.2. Globalna efektywność sieci tramwajowej . . . . .	143
5.3. Lokalna efektywność sieci tramwajowej . . . . .	158
<b>6. Wnioski . . . . .</b>	<b>171</b>



---

<b>Skorowidz</b> . . . . .	179
<b>Bibliografia</b> . . . . .	181
<b>Spis rysunków</b> . . . . .	188
<b>Spis tabel</b> . . . . .	191
<b>A. Definicje</b> . . . . .	193
<b>B. Narzędzia</b> . . . . .	198
<b>C. Ankieta</b> . . . . .	200
<b>D. Algorytmy i struktury danych</b> . . . . .	208
<b>E. Zestawienia danych</b> . . . . .	236
<b>F. Mapy</b> . . . . .	260

# Streszczenie

Nieustannie rosnące potrzeby transportowe, wzrost znaczenia ochrony środowiska oraz konsekwencje utraty jakości ruchu w sieciach transportowych przy jednoczesnym wzroście znaczenia ekonomiczności realizacji zadań transportowych są przyczyną zarówno poszukiwania nowych jak i ponownego przeglądu znanych środków zaspokojenia popytu na transport. Również wobec eksploatowanych rozwiązań oczekuje się wzrostu korzyści z ich użytkowania. Rezultaty stosowania wybranej technologii zależą przy tym od jej opisu na którym oparte są stosowane metody podejmowania decyzji. Charakterystyka opisywanych technologii zależy zaś od narzędzi stosowanych do ich oceny definiujących dostępne zmienne decyzyjne.

Wyróżnienie wybranych kryteriów opisu systemów transportowych pozwala nie tylko na eksponowanie relacji podobieństwa pomiędzy badanymi technologiami lecz również na ich hierarchiczną reorganizację i poprawę adekwatności narzędzi stosowanych do ich pomiaru.

Rozpatrując eksploatację infrastruktury systemów transportowych jednym z głównych wśród spotykanych problemów są zmiany tras powodowane koniecznością wyłączenia odcinków międzywęzłowych sieci, będące konsekwencją planowych remontów i zdarzeń incydentalnych. Poszczególne technologie transportu wykazują przy tym zmienną wrażliwość i wymiar konsekwencji powodowanych przez wyłączenia odcinków sieci. Intensywność z jaką mierzone są konsekwencje tej cechy zależne są przy tym od wpływu który można wywierać na zmianę toru ruchu pojazdów. Wśród technologii o stałym torze ruchu są one zatem szczególnie odczuwalne.

W oparciu o przedstawione obserwacje wyróżniono grupę systemów która stanowi nową klasę rozwiązań infrastruktury transportowej, opartą na istniejących technologiach transportu. Względem tej klasy zastosowano narzędzia oceny powstałe poprzez wykorzystanie kryteriów które posłużyły wcześniej do jej wyodrębnienia.

Obrany kierunek badań rzadko spotykany jest w dostępnych publikacjach, a przyjęty szczegółowy ich temat nie został dotychczas opisany. Opracowane narzędzia oceny nawiązują do tych które są dostępne obecnie lecz sama praca nie stanowi bezpośredniej kontynuacji wcześniejszych publikacji.

Z tego powodu przeprowadzona została konfrontacja używanych interdyscyplinarnych terminów co doprowadziło do uzyskania spójnej przestrzeni nazw.

Jednoznaczne zdefiniowanie problemu pozwoliło na jednoznaczne odnoszenie się do

różnych dziedzin nauki (eksploatacji, ekonomii, zarządzania, ...) oraz zidentyfikowanie kryteriów wyróżnienia i oceny tworzonej klasy rozwiązań transportowych.

Posiadając jasno zdefiniowany obiekt analizy i problem badawczy dokonano przeglądu dostępnych narzędzi opisu systemów technicznych uwzględniając przyjęte w pracy cele poznawcze. W kolejnym kroku poznawania obranego tematu przeprowadzono weryfikację adekwatności tych metod oceny które wykazują pewien stopień pokrewieństwa do badanego obiektu i zidentyfikowanego problemu. W wyniku przeprowadzonych badań literatury podjęto decyzję o opracowaniu nowego modelu oceny oraz uzupełnienia go o dokładny opis nowo powstałej klasy systemów transportowych.

Wyróżniona klasa *sieci sztywnotorowych* jest przedstawicielem grupy technologii o ustalonym i stałym torze ruchu, wspólnych cechach eksploatacyjnych oraz zunifikowanych narzędziach oceny infrastruktury transportowej. Klasa zorganizowana jest zgodnie z występującym rodzajem węzłów sieci. Podklasy sieci sztywnotorowych wykazują znaczne różnice co do swych własności i zastosowania. Szczególną grupę stanowią sieci regularne, które wykazują rzadko możliwą do tak jednoznacznego stwierdzenia dominację kierunku ruchu w sieci.

Doświadczenia uzyskane podczas implementacji modelu sieci sztywnotorowych oraz ich oceny wraz z dążeniem do wyeksponowania cech charakterystycznych systemów sieci sztywnotorowych doprowadziły do opracowania nowej konwencji zapisu sieci infrastruktury systemów transportowych oraz opisu jej charakterystyk. Zrezygnowano zatem z ich prezentowania w postaci tradycyjnie rozumianego grafu.

Jako nadrzędne kryterium oceny przedstawicieli klasy sieci sztywnotorowych wybrano efektywność rozumianą zgodnie z dwuwariantową, opisowo-normatywną definicją A. Brandowskiego. Konsekwencją dualnego charakteru kryterium nadrzędnego stało się rozdzielenie oceny systemu na dwie części. Dla definicji opisowej opracowano syntetyczny wskaźnik *globalnej efektywności eksploatacji* infrastruktury sieci sztywnotorowych. Normatywny charakter drugiego członu definicji efektywności został wyrażony poprzez wskaźnik *lokalnej efektywności eksploatacji* infrastruktury sieci sztywnotorowych.

Ocena globalnej efektywności eksploatacji sieci sztywnotorowych oparta została na dwóch subkryteriach: poziomie akceptacji wyrażającym stopień tolerancji dla obniżenia jakości ruchu oraz skuteczności realizowanych procesów transportowych. Wskaźnik ten pozwala m.in. na: ocenę stanu danego systemu, porównywanie różnych sieci tego samego rodzaju, podejmowanie decyzji co do zasadności rozpatrywania modernizacji budowy sieci, harmonogramowanie prac remontowych i kontrolowane rozkładanie ich uciążliwości w czasie, wybór trasy zastępczej w przypadku wyłączenia odcinka linii planowej.

Ocena lokalnej efektywności eksploatacji sieci sztywnotorowych znajduje zastosowanie przy opisie: pojedynczego odcinka międzywęzłowego sieci, linii, układu wielu linii, topologii sieci. Przeprowadza się ją tylko dla określonego punktu czasowego i nie służy

do porównania stanu w dłuższym okresie. Stosuje się ją wyłącznie w ramach jednej, konkretnej sieci. W odróżnieniu od wcześniej opisanego wskaźnika procedura dochodzenia do ustalenia jego wartości z uwzględnieniem wyników pomiarów i wskaźników pośrednich jest poznawczo równie ważna co ostateczny wynik. Ocena ta pozwala na dogłębne poznanie sieci i przyjmuje dwie podstawowe postacie analizy: ustalenia własności układu wyznaczonych tras linii oraz określenia własności układu torowego sieci.

Przeprowadzona pozytywnie walidacja modelu oceny pozwoliła na jego weryfikację opartą na przykładzie sieci torowisk tramwajowych miasta Wrocław. Rodzaj systemu użytego do weryfikacji wybrany został ze względu na reprezentatywność wobec jak największej grupy cech systemów transportowych należących do klasy sieci sztywnotorowych.

Weryfikacji podlega również proces sprawdzenia przynależności systemu transportowego do klasy sieci sztywnotorowej. Proces ten stanowi demonstrację proponowanej procedury wykazywania przynależności do wyróżnionej klasy.

Weryfikacja oceny globalnej efektywności eksploatacji wykazała jej wysoką adekwatność względem obserwacji systemu rzeczywistego. Pozwala nie tylko na stwierdzenie stanu systemu lecz poprzez pokazanie procesu decyzyjnego na jego zrozumienie (w tym zrozumienie wielu decyzji niekorzystnych które zaobserwowano).

Proces implementacji oceny lokalnej jest złożony a dla sieci o znacznych rozmiarach powiązany z intensywnym przetwarzaniem danych. Z tego względu zwrócono uwagę na możliwe trudności oraz skomentowano scenariusze ich podejmowania. Pomimo tych trudności ze względu na osiągnięte efekty procedura określania lokalnej efektywności eksploatacji jest bardzo przydatna pozwalając na poznanie cech sieci i układu linii oraz ich wzajemnej relacji.

Obserwowane, rosnące zainteresowanie systemami sieci sztywnotorowych pozwala na stwierdzenie o zwiększającym się znaczeniu badań tej klasy systemów transportowych.

# 1. Wprowadzenie

Przyjęta w pracy semantyka pojęcia *transport* określa podstawowe znaczenia systemów transportowych [28]:

1. czynnościowe – jako przemieszczanie, które posiada synonimy: komunikacja, przewóz, łączność,
2. podmiotowe – jako wyodrębniona forma działalności rozumiejąc transport jako dziedzinę działalności gospodarczej,
3. rzeczowe – określające wykorzystywane w transporcie wyposażenie materialne.

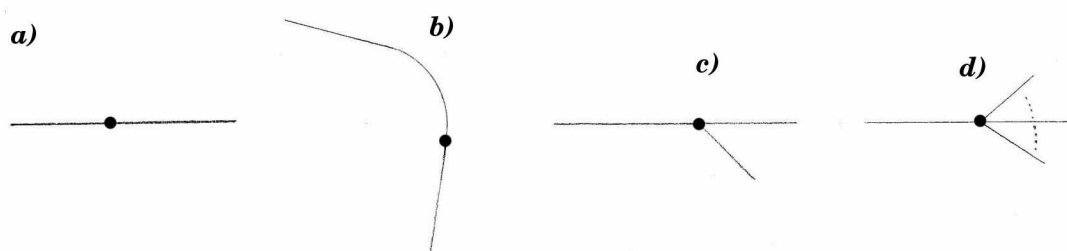
Podjęcie czynnościowe i podmiotowe skoncentrowane jest na prakseologicznym opisie systemów transportu. Wydzielenie podmiotowe umożliwia w analizie i ocenie systemów transportowych podległość zasadom eksploatacyjnym i technologicznym określonym przez precyzyjne zdefiniowanie analizowanego przypadku odchodząc od ogólnych regół ekonomiki transportu. Ujęcie rzeczowe transportu obejmuje wyposażenie materialne służące realizacji czynności transportowych z podstawowym podziałem na infrastrukturę (liniową i punktową) i suprastrukturę (tabor; środki pracy oraz jednostki ładunkowe, np. kontenery) [92].

Rozpatrywaną w pracy infrastrukturę transportową wyróżnionej grupy systemów komunikacji tworzą [92]: drogi; punkty transportowe (np. przystanki, dworce) oraz urządzenia pomocnicze bezpośrednio obsługujące drogi.

Niepodzielność techniczna i ekonomiczna infrastruktury wraz z wysoką kapitałochłonnością i majątkochłonnością, potęgowane długim okresem użytkowania powodują, że generuje ona istotne organizacyjnie oraz gospodarczo problemy decyzyjne.

Wśród systemów transportowych wyróżnić można takie, które z przyczyn zewnętrznych ograniczone są dostępną powierzchnią a stopień wykorzystania tej przestrzeni stanowi istotny wyróżnik stosowanego rozwiązania. W systemach tych dążyć należy do maksymalnego ograniczenia zajmowanej przestrzeni przy utrzymaniu zakładanej jakości usług transportowych. Do systemów takich należeć będą m.in. linie produkcyjne w halach o ściśle określonych warunkach środowiska, układy komunikacji zbiorowej dużych miast. Pozostałe systemy, nie posiadające tak mocno zaznaczonego kryterium ograniczenia zajmowanej przestrzeni, mogą w sposób bardziej swobodny dysponować miejscem pod infrastrukturę transportową.

W każdym systemie transportowym kryterium wykorzystania przestrzeni jednak wystę-



Rysunek 1.1. Podział ze względu na wybór w wyznaczonym punkcie  $k$  kierunków ruchu:

a)  $k = 0$ , b)  $k = 1$ , c)  $k = 2$ , d)  $k \geq 3$

puje, a o jego wadze decyduje głównie proporcja nakładów przeznaczonych na realizację rozwiązania do oczekiwanych korzyści.

Zmniejszanie zapotrzebowania przestrzennego w rozwiązaniach opartych na środkach transportowych prowadzonych przez operatora jest mocno ograniczone ze względu na wymaganą skrajnię zewnętrzną, która wprowadzana jest dla utrzymania bezpieczeństwa w trakcie manewrowania oraz przemieszczenia. Oszczędność miejsca może przynieść zmniejszenie skrajni, co powoduje, że środek transportowy musi być prowadzony przez infrastrukturę, która ściśle definiuje jego tor ruchu.

Systemy w których pojazd jest prowadzony przez infrastrukturę odznaczają się również mniej skomplikowaną organizacją ruchu i mniejszą kolizyjnością w punktach węzłowych.

Prowadzenie pojazdu można uzyskać na wiele sposobów, przez wykorzystanie ścieżki indukcyjnej pod powierzchnią drogi czy też inne ograniczniki. Jednym z najczęściej spotykanych przypadków jest wykorzystanie torowisk.

Szyba odznacza się dużą wytrzymałością na zużycie oraz prostotą technologii, co czyni ją zdecydowanie jednym z najpowszechniej stosowanych urządzeń tego typu w infrastrukturze transportowej.

Za podstawowe kryterium podziału wprowadzonej w pracy klasy systemów sieci sztywnotorowych można przyjąć liczbę możliwych do obrania kierunków ruchu w wyznaczonym punkcie (rys. 1.1):

- Jeśli nie możemy zmienić kierunku ruchu to następuje odcinek jazdy prostej.
- Jeśli w danym punkcie jest do wyboru tylko jeden, inny niż dotychczasowy kierunek to jest to łuk.
- W przypadku  $2 + n$  ( $n \geq 0$ ) wariantów występuje zwrótnica, która pozwala na wybór dalszego kierunku jazdy środka transportu.

Zwrótnice pozwalające na zmianę przemieszczenia się w  $3 + n$  ( $n \geq 0$ ) kierunkach są stosowane, lecz zakres ich wykorzystania jest nieduży, ze względu na techniczną złożoność oraz problemy utrzymania ich sprawności.

Podział ten pozwala zatem wyróżnić, uwzględniając występujące w sieci punkty węzłowe, następujące, podstawowe klasy rozwiązań infrastruktury sztywnotorowej:

1. sieci składające się wyłącznie z odcinków prostych,
2. sieci składające się wyłącznie z odcinków prostych i łuków,
3. sieci składające się wyłącznie z odcinków prostych, łuków oraz zwrotnic pozwalających na wybór jednego z dwóch kierunków ruchu,
4. sieci dopuszczające zwrotnice o  $n + 3$  ( $n \geq 0$ ) możliwościach zmiany kierunku ruchu.

Sieci wyróżnione w pierwszym i drugim punkcie są sieciami wysoce nieekonomicznymi z punktu widzenia ich topologii. Nie pozwalają one na współdzielenie żadnego odcinka pomiędzy liniami, co poza ograniczoną ilością przypadków (np. uzyskujące duże prędkości i przyspieszenia układy regałowe w magazynach wysokiego składowania) można uznać za zjawisko niekorzystne. Nie pozwalają one przy tym na ominięcie wyłączanego odcinka. Uszkodzenie w jednym punkcie danej linii czyni niedostępnym obszar za tym punktem.

Rozwiązania oparte na zwrotnicach o  $n + 3$  ( $n \geq 0$ ) możliwych zmianach kierunku ruchu oparte są ideowo na połączeniu dwóch zwrotnic  $n + 2$  ( $n \geq 0$ ), co prowadzi nie tylko do wzrostu ceny takiego rozwiązania ale również powoduje zwiększenie nakładów na ich utrzymanie wraz ze zwiększonym prawdopodobieństwem uszkodzenia takiego układu.

Sieci oparte na elementach połączeń torów o maksymalnie  $n + 2$  dostępnych kierunkach ruchu w jednym punkcie są najczęściej spotykane. Rozwiązania techniczne takiego węzła są różne, głównie spotyka się rozjazdy zwyczajne lub z elementem podstawianym w punkcie połączenia torów, właściwym dla wybranego kierunku ruchu.

Wprowadzone wcześniej ograniczenie związane z zapotrzebowaniem przestrzennym na drogi transportowe powoduje, że w sieciach na ograniczonym obszarze, tam gdzie jest to możliwe i dopuszczalne unika się dróg dwukierunkowych o wydzielonych, odrębnych torach ruchu w przeciwnych kierunkach w sieciach  $0r$ ,  $1r$  i  $2r$ .

Typowym rozwiązaniem dla sieci sztywnotorowej jest zatem sieć złożona z odcinków prostych, łuków oraz zwrotnic umożliwiających wybór jednego z dwóch kierunków. Taka sieć jest przedmiotem niniejszej pracy.

Sieci tak zdefiniowane pozwalają na bardzo dużą swobodę konfiguracji. Różnice w topologii sieci tej samej klasy sprawiają, że trudno jest wprost porównać dwa przypadki. Sieci takie, przy odmiennym układzie dróg, charakteryzuje różny stopień wpływu awarii lub planowego wyłączenia na działanie ich jako całości. Wyłączenia planowe i nieplanowe są przy tym zdarzeniami, które decydują o stopniu wykorzystania potencjału sieci.

Specyfika zachowania eksploatacyjnego opisanych systemów oraz ich relatywne podobieństwo konstrukcyjne pozwala na wyróżnienie odrębnej klasy systemów transportowych nazwanej sieciami sztywnotorowymi. Sieci te, ze względu na swoje własności i występującą złożoność powiązań elementów składowych i otoczenia, wymagają systematycznego

---

podejścia systemowego w analizie a ich podobieństwo pozwala na tworzenie modeli oceny opartych na ich cechach wspólnych.



## **2. Badania literaturowe**

Literatura związana z oceną efektywności systemów jest obszerna. Wyróżnić można jednak dwa główne jej nurty. Pierwszy prezentuje podejście ściśle ekonomiczne i opiera się na wskaźnikach kosztów i zysków. Drugi sięga do natury technicznej ocenianego obiektu i w zasadniczy sposób albo pomija jego aspekty ekonomiczne albo zawiera dodatkowe wskaźniki zaczerpnięte z ekonomicznej teorii efektywności, które wprowadzone są w sposób niespójny utrudniając podejmowanie decyzji w oparciu o nie.

Relacje pomiędzy wielkościami eksploatacyjnymi obiektu technicznego i jego efektywnością są złożone. Niektóre z tych wielkości interpretowane są bezpośrednio jako składowe efektywności eksploatacyjnej. Inne zaliczane są do niej jako wtórne składowe, które determinują również jakość i wydajność systemu. Wśród kryteriów oceny efektywności (perspektyw efektywności), szczególne znaczenie przybrały gotowość obiektu technicznego oraz przepustowość sieci transportowej.

W rozpatrywanym w pracy zbiorze systemów transportowych najgłębiej rozpoznaną i opisaną jest kolej. Zarówno bogate tradycje jak i intensywność badań sieci kolejowych spowodowały znaczną liczbę publikacji. Wyniki tych badań (o których nie można powiedzieć, że są skończone) można po odpowiednim zaadoptowaniu i interpretacji przenieść na szerszą grupę systemów będących obiektem opracowania, lecz nie jest to ani odniesienie bezpośrednie ani zawsze możliwe. Decyduje o tym budowa infrastruktury sieci, jej warunki eksploatacyjne jak i struktura ruchu, specyficzne w przypadku kolei.

### **2.1. Określenie kryterium efektywności oceny systemu technicznego**

Pojęcie efektywności należy do określeń bardzo często stosowanych przy ocenie różnego rodzaju obiektów i systemów. Szerokie zastosowanie tego terminu powoduje jego semantyczną wieloznaczność interpretowaną zależnie od dziedziny w której jest użyty. Do najczęściej spotykanych zaliczyć można efektywność określaną jako kategorię oceny jakości oraz szereg określeń ekonomicznej oceny. Zgodnie z pierwszym z wymienionych podejść efektywność rozumiana jest często jako spełnienie określonych wymagań stawianych ocenianemu obiektowi przez podmiot oceniający. Efekty rozumiane jako pewne zakładane oczekiwania odnosi się w tym przypadku do nakładów koniecznych do ich

zaspokojenia[67].

Rozumiana w ten sposób ocena jakości często napotyka na wiele trudności ze względu na jednoznaczne określenie istotnych kryteriów oraz różny punkt widzenia obserwatora.

Zatem konieczne jest ustalenie semantyki tego pojęcia.

Określenie *efektywność* jako ocena sprawności systemów działania można spotykać już wśród przedstawicieli kierunku naukowego zarządzania. Jeden z reprezentantów tego kierunku Harrington Emerson nadał mu nawet centralne znaczenie w swojej teorii. Dla Emersona efektywność to *pojęcie ilościowe, stosunek tego co jest do tego, co powinno być (wyrażony w procentach), czyli do pewnego wzorca (standardu) lub odwrotnie, zależnie od tego, czy dążymy w kierunku powiększania, czy też zmniejszania ilości, z którą mamy do czynienia* [53].

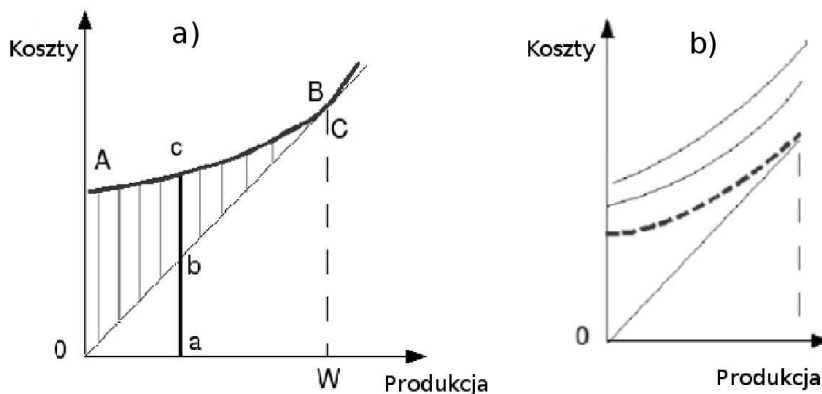
W czasach współczesnych Emersonowi zaczęto również określać efektywność na poziomie wyższej agregacji zagadnień oceny stosując ją w teorii wzrostu gospodarczego. Otóż niedługo po pierwszych pracach R. F. Harroda o zrównoważonym wzroście gospodarczym Evsey Domara, uczeń keynesisty amerykańskiego A. H. Hansena, użył w swojej teorii pojęcie efektywności inwestycji. Teoria wzrostu gospodarczego Domara, której pełną formę przedstawił w *Essays in Theory of Economic Growth* [85] ogólnie mówiąc uzależniała poziom wzrostu gospodarczego od poziomu inwestycji oraz oszczędności w danej gospodarce. Efektywność w ujęciu Domara nawiązywała do kapitałochłonności o której pisał Harrod oraz obarczona była szeregiem mało elastycznych założeń, jak krótki horyzont czasowy, które wynikały z teorii Keynesa jednak sprecyzowana jako wskaźnik *efektywność inwestycji* stanowiła istotny element określający poziom inwestycji.

Tak więc efektywność należy do kategorii, które można by określić przy pomocy terminologii informatycznej jako „skalowalne”. Spodziewać się również należy, iż teorie określające efektywność w skali mikroekonomicznej można przełożyć na skalę makroekonomiczną co jest bardzo cenne uwzględniając często występujące rozgraniczenia i odrębne traktowanie zjawisk w ekonomii w zależności od skali w jakiej występują.

Włączenia efektywności w ujęciu ekonomicznym do oceny eksploatacyjnych systemów technicznych dopatrywać się można w samej definicji eksploatacji, którą zgodnie z normą PN-82 N-04001 jest: *zespół celowych działań organizacyjno-technicznych i ekonomicznych ludzi z obiektami technicznymi oraz wzajemne relacje, występujące pomiędzy nimi od chwili przejęcia obiektu do wykorzystywania zgodnie z przeznaczeniem aż do jego likwidacji*.

Historycznie rzecz biorąc z efektywnością w ocenie systemów eksploatacji obiektów technicznych mamy do czynienia znacznie wcześniej. Wiązać to należy z metodami doboru urządzeń technicznych w procesie produkcji.

Jako jedną z pierwszych i najprostszych teorii ujmujących efektywność w procesie doboru urządzeń należy przytoczyć metodę opartą na prawie harmonii Adamickiego. Ada-



Rysunek 2.1. Prawo harmonii Adamieckiego: a) interpretacja graficzna, b) dobór urządzenia

miecki stwierdził, że [...] dla każdego zakładu istnieje zawsze pewna ściśle określona granica wydajności, przy której koszt na jednostkę produkcji jest najmniejszy; jeżeli ta granica zostanie przekroczona to koszt jednostkowy produkcji zaczyna wzrastać, czyli wytwórczość staje się znowu mniej ekonomiczna [...]. Jeżeli będziemy rozpatrywać rozchód jako nakład energii i środków, to przekonamy się, że właściwość tę ma każda maszyna, każdy organ pracujący, każdy warsztat mały czy duży [...]. Granica ta jest właśnie jedną z najważniejszych charakterystyk każdej jednostki wytwórczej [16].

Zależność od wydajności pracy przedstawił Adamiecki za pomocą wykresu (rys. 2.1a). Krzywa  $AB$  wyraża rozchód na jednostkę czasu. Styczna przeprowadzona przez środek układu pozwala znaleźć wielkość produkcji dla której stosunek kosztów do wielkości produkcji ulega pogorszeniu. Styczna  $OC$  dzieli dodatkowo koszty na koszty użyteczne oraz koszty utraconego czasu.

Zgodnie z tą metodą porównanie kilku urządzeń pozwala na dobór najbardziej odpowiedniego, poprzez wybranie tego, którego krzywa rozchodu na jednostkę czasu najbardziej zbliża się do stycznej  $OC$  (rys. 2.1b), Rozpatrywany wykres krzywej rozchodu jest wg Adamieckiego najogólniejszą charakterystyką ekonomiczną każdej jednostki produkcyjnej. W złożonym procesie transportu przy użyciu wielu środków (wiele maszyn i urządzeń w jednym ciągu technologicznym) najbardziej odpowiednim systemem okaże się ten którego poszczególne jego elementy mają najbardziej zbliżone charakterystyki.

Nie zastosowanie się do tego zalecenia prowadzi do powstawania wąskich gardeł co zauważył m. in. O. Lange. Dodatkowo można sterować ilością wielu jednorodnych równoległe wykorzystywanych urządzeń.

Pomimo tego, iż nawet dziś metoda ta może służyć w praktyce działalności gospodarczej, wysuwano wiele jej wad z których do największych można zaliczyć pominięcie

zagadnień związanych z rachunkiem efektywności inwestycji, nie uwzględnianie jakości wytwarzanych produktów, pominięcie okresu eksploatacji oraz ograniczone zastosowanie do wyboru jednego z wielu substytucyjnych urządzeń.

Bardzo zbliżone zastosowanie ma, datowana na początek lat sześćdziesiątych, metoda rejestracyjno - graficzna. U podstaw tej metody znajduje się stwierdzenie o istnieniu związku pomiędzy technicznym wyposażeniem pracy a wydajnością. Łączy ona metodę fotografii czasu czynności oraz metodę porównań wyników obserwacji tych czynności. Wśród czynności wyróżnia się: przygotowawcze, wykonawcze i zakończeniowe. Metoda ta pozwala na lepsze zaprojektowanie czynności lub narzędzia jej realizacji. [16]

Kolejną metodą którą ze względu na walory poznawcze zaliczyć dziś można do metod o znaczeniu historycznym jest metoda wskaźników technicznych. W metodzie tej wykorzystuje się to, że wskaźniki te [...] *wykazują podobieństwo do norm technicznych i stanowią podstawę obliczenia i analizy rozwoju wskaźników techniczno - ekonomicznych* [16]. Różnice techniczne wykazywane przez wskaźniki techniczne stanowią niejednokrotnie wystarczającą podstawę do oceny wariantów rozwiązania.

Wśród metod o znaczeniu historycznym dla podejścia do oceny efektywności systemów technicznych wyróżnić jeszcze można metodę wydajności urządzeń. Wydajność obok efektywności sama jest pojęciem wieloznacznym, które opisywane jest wieloma niejednobrzmiającymi definicjami. Bardzo częste jest jednak, zarówno w technice jak i ekonomii, określanie wydajności przez wyznaczenie uzyskiwanego efektu w jednostce czasu. Metoda ta częściowo pokrywa się z metodą opartą na harmonii Adamieckiego oraz metodą wskaźników technicznych.

W czasach współczesnych ocena efektywności systemów technicznych korzysta często z innych dziedzin, z których wyliczyć można: badania operacyjne, teorię masowej obsługi, teorię odnowy, analizę wartości, rachunek kosztów, rachunek efektywności inwestycji oraz wielowymiarowe wektory jakości. Wszystkie te metody można określić jako specjalizowane, które w sposób wybiórczy charakteryzują wybrany system techniczny. Dopiero ich kompozycja jest zgodna z całościowym, podejściem systemowym do analizy systemu technicznego.

Pomimo tak wielu metod bazujących na określeniu wielorako rozumianej efektywności oraz prac prowadzonych nad nimi nie wypracowano jak dotąd jednobrzmiącej definicji efektywności pozwalającej na zastosowanie we wszystkich jej dotychczasowych implementacjach.

Obecna semantyka pojęcia efektywności związana jest z wpływami dziedzin takich jak teoria systemów, zarządzanie jakością oraz ekonomia.

Zgodnie z teorią systemów *efektywnością systemów działania nazywamy cechę systemową, która wyraża racjonalne zdolności systemów do zaspokojenia określo-*

nych potrzeb (osiągania zamierzonych celów działania, funkcjonowania zgodnie z przeznaczeniem i wymaganiami) [79].

Efektywność w ujęciu teorii systemów stara się głównie odpowiedzieć, w aspekcie funkcjonalnym modelowania, na pytania: [...] *jaka jest organizacja realizacji procesów (funkcji) w systemie, jaki powinien być najbardziej pożądanym przebieg tych procesów, w jaki sposób cechy elementów (obiektów) systemu wpływają na efektywność procesów [...] [79].* Nowym, dotychczas nie precyzowanym zagadnieniem, jest w teorii systemów określenie potencjału systemu. Otóż istnieje pewna wartość charakterystyczna systemu, określona w każdej chwili czasu jako potencjał systemu. Za potencjał systemu  $S$  w chwili  $t$  przyjęto całokształt możliwości działania zgodnie z jego przeznaczeniem. Potencjał ten kształtują następujące czynniki [79]:

- potencjał ludzki  $P^L(t)$ ,
- potencjał techniczny  $P^T(t)$ ,
- potencjał energomateriałowy  $P^M(t)$ ,
- potencjał sterowniczy  $P^S(t)$ ,

a dla każdego systemu działania spełniony jest następujący warunek dla funkcji potencjału  $\Phi$ :

$$\Phi[P^L(t), P^T(t), P^M(t), P^S(t)] \left[ \sum_{m=1}^M P_{Sm}(t) \right]^{-1} = \Pi \quad , \quad (2.1)$$

gdzie:  $P_{Sm}(t)$  - potencjał  $m$ -tego elementu systemu,  $\Pi$  - współczynnik „systemotwórczy”.

Współczynnik systemotwórczy przybiera wartość  $\Pi \geq 1$ . Jest to więc nic innego jak efekt synergii systemu. Efekt ten pozwala wyjaśnić trudności w opisie analitycznym rozpatrywanych systemów.

Potencjał systemu pozwala określić przytoczoną już wcześniej definicję efektywności potencjalnej. Za efektywność potencjalną przyjmuje się *cechę wyrażającą relację między potrzebami a potencjałem systemu*, czyli między strumieniem potencjału a strumieniem potrzeb [79]:

$$E_S^P = f[V_s(t), P_s(t)] \quad , \quad t_0 \leq t \leq T \quad , \quad (2.2)$$

gdzie strumień potencjału (potrzeb) jest ciągłą i różniczkowalną funkcją, która każdej chwili  $t$  ( $t_0 \leq t \leq t_m$ ) przyporządkowuje określony potencjał (potrzebę).

Zwraca się uwagę na to, iż w wielu przypadkach cele formułowane są w innych kategoriach niż ekonomiczne, lub też nie stanowią dominanty takiego działania co jest bardzo istotne w analizie efektywności systemów eksploatacyjnych.

Wyróżnienie dwóch skrajnych przypadków: dążenia za wszelką cenę do efektów lub minimalizacji kosztów prowadzi Sienkiewicza do sformułowania postulatów dla określenia efektywności, które m.in. mówią, że: *efektywność jest cechą stanowiącą podstawę porównywania systemów tej samej klasy oraz efektywność może być wyrażana w różny sposób w zależności od klasy systemów, ich celów (przeznaczenia) i warunków*

*działania*. Kontynuując wywód myślowy za Sienkiewiczem efektywność, po rozpatrzeniu możliwych kryteriów oceny, to skuteczność i ekonomiczność, które są w równym stopniu określone przez: informacyjność, niezawodność, gotowość, żywotność, „eksploatacyjność”, wydajność.

Sienkiewicz dąży więc w kierunku wielokryterialnej oceny poprzez określenie pewnego rodzaju wielowymiarowego wektora wskaźników.

Wielowymiarowe wektory określające efektywność działania stanowią odrębną grupę metod zarządzania jakością. Typowym przykładem takiej interpretacji jest *Efektywność eksploatacji maszyn* S. Oziemskiego [67]. Punktem wyjścia dla Oziemskiego jest analiza wskaźnikowa a przyjęty ich zestaw ma charakter mieszany, wskaźników techniczno - ekonomicznych. Spektrum wskaźników jest bardzo szerokie. Obejmuje m.in. wykorzystanie środków trwałych, amortyzację, efektywność inwestycji, analizę kosztów eksploatacji środków trwałych, ubezpieczenia, analizę kwalitonomiczną (kosztowo-jakościową, cenowo-jakościową) oraz efektywność maszyn w powiązaniu z oceną finansową przedsiębiorstwa jako całości. Sformułowany zostaje model niezawodnościowy maszyny uwzględniający również koszty eksploatacji oraz ocenę bezpieczeństwa, lecz one również nie stają się cechami dominującymi. Wchodzą w skład wielowymiarowego wektora jakości. Łączną ocenę tak różnych wskaźników można określić jako systemową, lecz to zróżnicowanie jest powodem znacznych trudności interpretacyjnych. Wynikiem jest wektor jakości, będący kompleksową oceną z różnych punktów widzenia lecz nie do końca spójny ze względu na swoje elementy składowe.

Dążenie do ujednoczenia składników wektora jakości powoduje znaczną komplikację obliczeniową i interpretacyjną, co stanowi dużą przeszkodę w aplikacjach praktycznych tego rozwiązania.

To co niewątpliwie Oziemski dodaje do dotychczasowego ujęcia efektywności systemów technicznych to uwzględnienie oceny efektywności eksploatacji już na etapie projektowania, we wczesnym etapie życia produktu, gdy dane rozwiązanie jest w fazie modelowania, które ma na celu usprawnienie działania lub powstanie wyrobu.

Jest to realizacją projektowania zorientowanego na eksploatację. Projektowanie to (Design for Operation - DfO) wiąże jakościową ocenę kosztów eksploatacji systemów technicznych z takimi czynnikami jak [51]:

- przyjęty model zapewnienia eksploatacyjnej jakości systemu,
- przyjęta strategia promocyjna inwestora dotycząca walorów eksploatacyjnych tworzonego systemu,
- kwalifikacja grupowa tworzonego systemu wynikająca z przyjętej pragmatyki jego eksploatacji.

Kolejnym wkładem Oziemskiego w zrozumienie zjawiska efektywności procesów działania w systemach eksploatacyjnych obiektów technicznych jest uwzględnienie huma-

nistycznego podejścia do procesu eksploatacji, zgodnego z filozofią antropocentryczną. Oziemski wskazuje na dotychczasowe niedoszacowanie znaczenia potencjału ludzkiego w systemach eksploatacyjnych. Umiejętności operatora są dla niego kluczowym czynnikiem w kształtowaniu efektywności działania systemów technicznych [67].

O ile opisywane do tej pory podejścia można zakwalifikować jako pewne chronologicznie ujęte uzupełnienie spojrzenia na ocenę efektywności systemów technicznych, o tyle efektywność ekonomiczna jest pojęciem całkowicie niezależnym, rozwijającym się równoległe do ujęcia eksploatacyjnego, choć nieraz włączanym do oceny systemów technicznych.

Literatura dotycząca efektywności ekonomicznej jest niezwykle bogata. Takie ujęcie efektywności jest również zgodne z definicjami powszechnie używanymi w publikacjach dotyczących logistyki. Powszechnie komentowana jest duża różnorodność interpretacji efektywności tak jak np. u Blaika [6]. On sam wyróżnia dwa wymiary efektywności: rynkowy oraz ekonomiczny. Blaik praktycznie pomija jednak aspekt eksploatacyjny oceny efektywności choć w przypadku systemów logistycznych musi opisywać również obiekty techniczne które się na te systemy składają.

Inni znani autorzy z dziedziny logistyki, Pfohl i Twaróg, sięgają przede wszystkim do wskaźników przy ocenie efektywności systemu logistycznego [69, 99]. Nie jest to jednak metoda wskaźników technicznych, która wcześniej została wspomniana. W dużej mierze są to wskaźniki rotacji.

Ani Pfohl ani Twaróg nie analizują jednak sfery eksploatacji systemu technicznego, poza gotowością, którą można by było uznać za jej element, choć jest tu ona ujęta tylko w kontekście dostaw [69, 99]. Jako rozwinięcie podejścia Pfohla oraz Blaika można traktować publikację Nowickiej - Skowron [82], która łączy te dwie pozycje, ale również tu ocena *efektywności pozaekonomicznej* nie została ujęta.

Naturalne wobec tak szerokiego zastosowania pojęcia efektywności odniesienie się do metanauk jak prakseologia, nie jest rozwiązaniem, gdyż jak np. definicja Pszczołowskiego określająca efektywność jako  *dodatnią cechę działań dających jakiś oceniany pozytywnie wynik, bez względu na to czy był on zamierzony (działania skuteczne i efektywne), czy nie zamierzony (działanie efektywne)*  [73], są zbyt ogólne dla rozpatrywanej aplikacji, tzn. aby mogły stać się podstawą doboru obiektywnych kryteriów oceny.

Jako najbardziej adekwatną do przyjętego celu pracy wobec tak szerokiego zakresu pojęciowego terminu efektywności uznano definicję Brandowskiego w wersji opisowej i normatywnej [16]:

- *Efektywność systemu technicznego w sensie opisowym* stanowi łączną cechę systemu i procesu eksploatacji, wyrażającą ocenę skutków zastosowania systemu.
- *Efektywność systemu technicznego w sensie normatywnym* stanowi stopień realiza-

cji zadań stawianych systemowi, mający miejsce w określonych warunkach eksploatacji i w określonym przedziale czasu.

Przyjęcie tej definicji pozwala za Brandowskim na rozróżnienie pojęciowe efektywności, jakości oraz niezawodności. Jakość będzie rozumiana jako *zdolność do zaspokajania potrzeb* a niezawodność jako *zdolność do zachowania własności*.

Efektywność obiektu technicznego, będąca w literaturze traktowana jako wieloznaczna charakterystyka obiektu, może być rozpatrywana z różnych punktów widzenia: ekonomicznego, eksploatacyjnego, niezawodnościowego, jakościowego, gotowościowego lub innych. Dobrana miara zależy przy tym od wymagań stawianych realizowanym zadaniom.[1]

## **2.2. Charakterystyka obiektów technicznych systemu transportowego w aspekcie oceny efektywności**

Jedną z najczęściej występujących i najpełniej opisanych charakterystyk obiektu technicznego określających efektywność działania jest niezawodność.

Podstawowym parametrem eksploatacyjnym względem którego rozpatrywana jest niezawodność systemu technicznego, w literaturze technicznej jest czas. W ocenie systemu technicznego względem czasu najczęściej spotykanym podejściem jest określenie kosztów ponoszonych w trakcie procesu eksploatacji. Związek ten określa się dzięki znajomości wysokości kosztów w funkcji niezawodności (np. [105]).

Wzajemne relacje pomiędzy pojęciami określającymi niezawodność i samym pojęciem niezawodności a efektywnością posiadają równie bogatą historię co sama efektywność opisana wcześniej. Jeszcze u Gniedenki, Bielajewa i Sołowiewa w *Metodach matematycznych...* [24] spotkać można przytoczenie sceptycznej opinii inżynierów projektujących złożone systemy o przydatności pojęć teorii niezawodności. W opinii tej inżynierowie twierdzą niejako, że *pojęcie niezawodności systemu złożonego jest pozbawione sensu i należy mówić tylko o efektywności takich systemów, gdyż można mówić o efektywności absolutnie niezawodnych systemów*.

Efektywność rozumiana jest przy tym jako *miara wydajności systemu uwzględniająca warunki zewnętrzne i sposób zastosowania systemu*. Postuluje się o niezależności pojęcia efektywności od pojęcia niezawodności. W systemach zawodnych jakość staje się główną determinantą efektywności, a niezawodność przybiera znaczenie *stabilności efektywności z uwzględnieniem niezawodności części składowych systemu*.

Prowadzone w latach 60-tych rozważania terminologiczne na gruncie rozwijających się pod wpływem rachunku prawdopodobieństwa dziedzin nauki nie są jednak czymś szczególnym, raczej porządkowaniem przestrzeni nazw.



Wiele nowych w rozpatrywanym okresie określić spotkać można m.in. u Bojarskiego [8] skupiającego szczególną uwagę na zagadnieniach jakości i ekonomiczności w relacji do niezawodności. Wśród wielu przytoczonych w pracy współczynników i wskaźników oceny, które rozdziela na inwestycyjne i eksploatacyjne, Bojarski określa dyspozycyjność.

Współczynnik dyspozycyjności zdefiniowany jest jako maksymalna część czasu kalendarzowego urzędnika, jaka w danych warunkach może być wykorzystana na pracę. W *urzędzeniach wielokrotnie naprawianych, w których ponadto zdarzają się inne losowe przerwy w pracy, przy częściowej elastyczności harmonogramu charakteryzuje zdolność danego urzędnika do wykonywania efektywnej pracy* [8].

Wartość współczynnika dyspozycyjności urzędnika (w ówczesnej literaturze elektronicznej nazywanego już gotowością operacyjną) oznacza oczekiwaną część czasu kalendarzowego w której urządzenie będzie zdadne do pracy lub będzie pracowało prawidłowo. Współczynnik ten jest przy tym bardzo ogólny i syntetyczny uwzględniając przerwy planowe, losowe ogólne, przestoje konserwacyjne, postoje od uszkodzeń i zakłóceń, postoje technologiczne, naprawy.

Wszystkie opisane elementy stanowią, z punktu widzenia analizowanych w pracy kryteriów oceny, podstawową charakterystykę eksploatacyjną infrastruktury sieci sztywnotorowej<sup>1</sup>.

Współcześnie najbardziej adekwatnym semantycznie terminem, który obejmuje opisaną charakterystykę, jest gotowość .

*Gotowością obiektu technicznego nazywamy prawdopodobieństwo znajdowania się jego w stanie zdadności. Jeżeli obiekt jest nieodnawialny, to gotowość w ustalonej chwili  $t > 0$  jest równa niezawodności obiektu w przedziale czasowym  $[0, t]$ .* [7]

*Kiedy jedyną istotną właściwością niezawodnościową obiektu jest jego gotowość, a właśnie tak w znacznej mierze należy postrzegać ją w analizie eksploatacji determinowanej przez topologię systemów sztywnotorowych, możemy podać następującą definicję niezawodności: „Niezawodność obiektu jest to jego właściwość określana przez jego gotowość ”* [62].

W uproszczeniu gotowość można określić, znając długość okresów zdadności i niezadadności danego obiektu, jako:

$$A = \frac{T}{T + \Theta} \quad , \quad (2.3)$$

gdzie:  $T$  - średnia długość okresów zdadności,  $\Theta$  - średnia długość okresów niezadadności.

Wynika stąd, że aby jednoznacznie i w pełni scharakteryzować niezawodność takiego obiektu należy oprócz wskaźnika gotowości  $A$  podać również punkt odniesienia w postaci np. średniej długości okresów zdadności  $T$ .

<sup>1</sup> Objasnieniu pojęcia i charakterystyki sieci sztywnotorowej poświęcono następny rozdział.

Tabela 2.1. Wzory do wyznaczenia gotowości systemów (wybrane z [62])

Lp.	System	Gotowość systemu
1	Szeregowy	1) jednorodnego $G_S = G^n$
		2) niejednorodnego $G_S = \prod_{i=1}^n G_i$
2	Równoległy	1) jednorodnego $G_T = 1 - (1 - G)^n$
		2) niejednorodnego $G_T = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - G_i)^n$
4	Szeregowo-równoległy	1) jednorodnego $G_{sr} = [1 - (1 - G)^m]^n$
		2) niejednorodnego $G_{sr} = \prod_{j=1}^n [1 - \prod_{i=1}^m (1 - G_{ij})]$
5	Równoległo-szeregowy	1) jednorodnego $G_{rs} = 1 - (1 - G^m)^n$
		2) niejednorodnego $G_{rs} = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \prod_{i=1}^m G_{ij})$

gdzie:  $G_S$  - gotowość systemu szeregowego,  $G_T$  - gotowość systemu równoległego,

$G_{sr}$  - gotowość systemu szeregowo-równoległego,  $G_{rs}$  - gotowość systemu równoległo-szeregowego,  $n, m$  - liczba elementów,  $G$  - gotowość pojedynczego elementu.

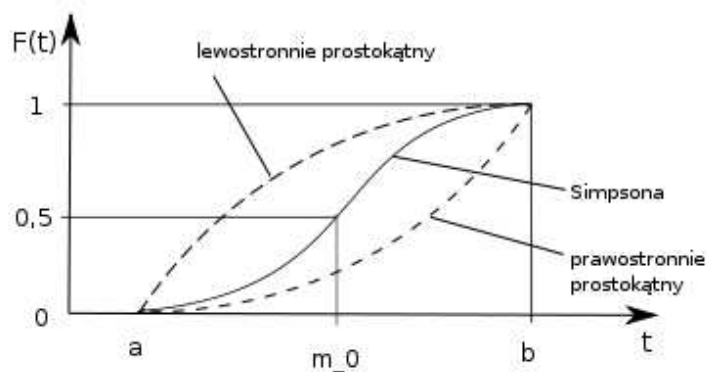
Zgodnie z probabilistycznym ujęciem gotowości, w sensie wartościująco-normatywnym, gotowość obiektu jest to prawdopodobieństwo  $G(t)$  tego, że obiekt przystąpi do realizacji ustalonych zadań we właściwym czasie  $T \leq t_g$  i miejscu:

$$G(t) = P(T \leq t_g) \quad . \quad (2.4)$$

Jeżeli znane są wartości gotowości poszczególnych elementów systemu oraz jego struktura to można na tej podstawie, zgodnie ze wzorami podanymi w tabeli 2.1, wyznaczyć gotowość obiektu traktowanego jako system.

Gotowość systemu technicznego należy traktować jako właściwość, która jest zmienną losową. Opisu tej charakterystyki podjęli się m.in. Jaźwiński i Smalko [34, 35].

Zmienna ta jest obustronnie ograniczona poprzez jej fizyczne i techniczne własności. Czas odnowy jest ograniczony od dołu czasem organizacyjnym, czasem lokalizacji uszkodzeń oraz czasem wymiany uszkodzonego elementu. Ograniczenie czasu odnowy od góry wyznaczone jest przez przez czas trwania naprawy. Do opisu gotowości autorzy proponują rozkład trójkątny [34]. Za niedocenioną uważają możliwość modelowania gotowości i nie-



Rysunek 2.2. Wybrane przebiegi funkcji zawodności dla rozkładu trójkątnego,  $m_0 = \mu$   
 Źródło: J. Jaźwiński, Z. Smalko, Wykorzystanie trójkątnego rozkładu prawdopodobieństwa w ocenie gotowości i niezawodności obiektów technicznych, w: Problemy niezawodności obiektów technicznych i tolerowanie uszkodzeń w procesie realizacji zadań, Szczyrk, 1997

zawodności obiektów technicznych za pomocą ogólnego rozkładu trójkątnego. Na rysunku 2.2 przedstawiono zakres zmian funkcji zawodności rozkładu trójkątnego. Należy zwrócić uwagę na przebieg tej funkcji dla rozkładu Simpsona (rozkład symetryczny trójkątny).

Wykorzystując opinie ekspertów do wyznaczenia subiektywnej postaci rozkładu trójkątnego  $i$ -ty ekspert ( $i=1,2,\dots,n$ ) wydaje pesymistyczną  $a_i$ , najwiarygodniejszą  $m_{oi}$  oraz optymistyczną  $b_i$  ocenę czasu poprawnego funkcjonowania. Wartość modalną oszacowuje się z uwzględnieniem liczności poprzedzającej i następującej grupy ocen ekspertowych, przymykających do najliczniejszej grupy ocen. Oszacowanie górnego krańca rozkładu określa największa ( $maxb$ ) obserwacja, niezależna od pozostałych parametrów. Wyróżnić można oceny: optymistyczne  $maxa$  i  $maxb$ , pesymistyczne -  $mina$  i  $minb$  oraz nominalne -  $a_0$ ,  $b_0$ ,  $m_0$ , na których podstawie wyznacza się takie charakterystyki jak oczekiwany czas i średnie odchylenie standardowe czasu zdatności (wzory 2.5).

$$\mu = \frac{a + m_0 + b}{3}, \quad \sigma^2 = \frac{(b - a)^2 - (m_0 - a)(b - m_0)}{18} \quad (2.5)$$

Rozkład beta jest najbardziej elastycznym obustronnie ograniczonym rozkładem prawdopodobieństwa [35]. Jaźwiński i Smalko polecają ten rozkład do stosowania m.in. w technicznych systemach transportowych dla oceny niezawodności i bezpieczeństwa. Uwzględniając możliwości zmian położenia wartości modalnej w ramach rozstępu rozkładu, rozkład ten jest przydatny do wyznaczenia subiektywnego prawdopodobieństwa zdarzeń eksploatacyjnych. Do wyznaczenia parametrów rozkładu wykorzystać można metodę ekspertową, co jest przydatne, gdy nie udaje się zaobserwować dużej ilości zdarzeń.

Gotowość jest, jak to wynika w przytoczonego opisu, pojęciem złożonym i może podlegać dekompozycji. Traktując gotowość jako kryterium wielowarstwowe naczelnym pojęciem jest gotowość operacyjna definiowana jako iloczyn gotowości potencjalnej oraz zada-

niowej, przy czym pierwsza z nich podlega dalszej dekompozycji na gotowość funkcjonalną oraz początkową. [104]

Gotowość traktowana jako kluczowy parametr oceny systemu kojarzona jest głównie z systemami interwencyjnymi, ratowniczymi oraz innymi systemami eksploatacji gdzie ważną rolę spełnia dyspozycyjność. Analiza gotowości oparta jest w tych przypadkach na modelowanym procesie, a ten zależy od stanu obiektów technicznych systemu.

Określenie stanu systemu transportowego lub pojedynczego jego procesu jest zadaniem złożonym i kompleksowym. Rozbudowany aparat narzędziowy diagnostyki procesów opisano m.in. w [48].

Realizowane scenariusze działań w tym systemie zależą od wyróżnionych zdarzeń (pożądanych jak i niepożądanych). W modelu takim przydatne stają się metody drzewa zdarzeń, które swoje główne zastosowanie w transporcie znalazły w analizie bezpieczeństwa (przykł. [20]). W sekwencji zdarzeń definiowane są wypadki, wykonanie i niewykonanie zadania, neutralizacja [20], które jako zdarzenia niepożądane determinują bezpieczeństwo procesu transportowego a celem staje się opracowanie systemu zabezpieczającego.

Zasadniczy wpływ gotowości na efektywność systemu występuje tam gdzie działanie polega na spełnianiu takich wymagań jak [37]:

- *maksymalizacja czasu dyżurowania lub pracy w ustalonych okresach, [...]*
- *terminowość rozpoczęcia generowanych losowo zadań, [...]*

Systemy takie zależą od wystąpienia pewnych wyróżnionych zdarzeń a więc można je analizować wykorzystując metody drzewa zdarzeń.

Przy identyfikacji zdarzeń mających wpływ na gotowość rozważa się co najmniej trzy przedziały czasowe [37]:

- oczekiwanie na wystąpienie wyróżnionego zdarzenia,
- reorganizacja oraz przygotowanie do wykonania działań interwencyjnych po wystąpieniu zdarzenia losowego,
- realizacja działania interwencyjnego.

System wojskowy  $S$ , zgodnie z tym podejściem, charakteryzowany jest następującą uporządkowaną trójką [37]:

$$S \Leftrightarrow \langle S_p, S_d, S_k \rangle \quad ,$$

gdzie:  $S_p$  – system początkowy (pierwsza faza istnienia systemu interwencyjnego);  $S_d$  – system działania przekształcający w czasie normatywnym  $T_d$  (zdeterminowanym lub losowym) system początkowy w system końcowy (druga faza systemu interwencyjnego);  $S_k$  – system końcowy (trzecia faza systemu interwencyjnego).

Zastosowanie strategii w prowadzonych działaniach pozwala uzyskać element kontroli w scenariuszach zdarzeń. Aby zapewnić ustalony poziom gotowości systemu przy jednoczesnym [39]:

- braku możliwości ustalenia chwili uszkodzenia obiektu,
  - nieokreślonym czasie w którym obiekt osiąga stany graniczne,
  - ustaleniu stanu obiektu pod warunkiem dokonania wcześniejszej obsługi,
- stosowane są strategie obsłóg uwzględniające poziom gotowości obiektu.

*Zadaniem tych strategii jest określenie takiej sekwencji działania profilaktycznego, by zapewnić minimalizację oczekiwanych kosztów eksploatacji obiektu przy jednoczesnym zapewnieniu pewnego poziomu gotowości, tzn. zdolności do wykonania zadania przez ten obiekt [39].*

Jako przykład strategii podać można model opisany w artykule *Optimal  $(\tau, T)$  opportunistic maintenance of  $k$ -out-of- $n$ : $G$  system with imperfect PM and partial failure* H. Wanga i H. Phama [70]. Za kryterium optymalizacji parametrów odnowy w tym modelu przyjęto poziom gotowości systemu. Załóżmy, że:

- niezdatny komponent systemu, który uszkodził się w okresie  $(0, \tau_1)$  jest przywracany do stanu operacyjnego przy wykorzystaniu niepełnej odnowy,
- komponenty, które uległy uszkodzeniu w okresie  $(\tau_1, T)$  oczekują na wymianę do chwili osiągnięcia przez system wieku  $T$ , w którym przeprowadzane są operacje: odnowy korekcyjnej uszkodzonych elementów oraz odnowy profilaktycznej elementów zdalnych,
- jeżeli przed osiągnięciem czasu  $T$  uszkodzi się  $k$  elementów, również przeprowadzana jest operacja odnowy (struktura niezawodnościowa typu „ $k$  z  $n$ ”),
- zdarzenia są niezależne,
- koszty odnowy minimalnej są losowe,
- czasy odnowy minimalnej są pomijalne,
- spełnione są warunki pełnej odnowy profilaktycznej,
- elementy systemu są identyczne, opisane jednakowymi rozkładami prawdopodobieństwa.

Wskaźnik gotowości systemu wyznacza się ze wzoru:

$$A(\tau_1, T_{cw}) = \frac{\tau_1 + \int_0^{T_{cw}-\tau_1} R_i(t) dt}{\tau_1 + \int_0^{T_{cw}-\tau_1} R_i(t) dt + F(T_{cw} - \tau_1)(T_{rx} - T_{w2}) + T_{w2}}, \quad (2.6)$$

a dla warunków stacjonarnych funkcja oczekiwanych kosztów odnowy systemu określona jest wzorem:

$$C_r(\tau_1, T_{cw}) = \frac{n \int_0^{\tau_1} c_{nm}(y) \lambda(y) dy + F(T_{cw} - \tau_1)(c_{rx} - c_{w2}) + c_{w2}}{\tau_1 + \int_0^{T_{cw}-\tau_1} R_i(t) dt + F(T_{cw} - \tau_1)(T_{rx} + T_{w2}) + T_{w2}}, \quad (2.7)$$

gdzie:  $n$  – liczba elementów systemu;  $c_{rx}$  – jednostkowy koszt operacji obsługi korekcyjnej oraz obsługi profilaktycznej przeprowadzonych wspólnie;  $c_{nm}(t)$  – koszty naprawy minimalnej w chwili  $t$ ;  $T_{rx}$  – losowy czas realizacji operacji obsługi korekcyjnej oraz obsługi

profilaktycznej przeprowadzanych wspólnie;  $T_{w2}$  – losowy czas realizacji operacji odnowy profilaktycznej systemu;  $\tau_1$  – losowy czas, w którym realizowane są tylko odnowy minimalne uszkodzonych elementów systemu;  $c_{w2}$  – jednostkowy koszt operacji odnowy profilaktycznej systemu;  $\lambda(t)$  – funkcja intensywności uszkodzeń;  $R_i(t)$  – funkcja niezawodności  $i$ -tego obiektu.

Inną istotną grupą strategii eksploatacyjnych są strategie według efektywności. Strategie te dotyczą zdarzeń, gdy relatywne starzenie się maszyn wyprzedza ich fizyczne zużycie i maszyny te pomimo tego, że są w stanie zdadności technicznej są wycofywane z użytku z powodu niezadowalającego poziomu efektywności lub wprowadzenia nowych kryteriów (np. bezpieczeństwo, ekologia itp.). [103]

Metody drzewa zdarzeń wspomagają projektowanie struktury procesu o oczekiwanych właściwościach. Strategie obsługi przyczyniają się do zwiększenia kontroli nad eksploatacją systemu technicznego. Struktura obiektu technicznego wpływa na jego zachowanie w czasie eksploatacji. W prezentowanej pracy przedmiotem badań jest infrastruktura sieci transportowej. Jednym z celów w projektowaniu takich systemów w przypadku występowania stałych tras jest uzyskanie takiej struktury sieci, która będzie zapewniać stabilny poziom efektywności jej eksploatacji wtedy, gdy dojdzie do wymuszenia korzystania z tras zastępczych. Pomocne w tym może okazać się traktowanie tras jako *ścieżek zdadności* [62] i wykorzystanie *cięć* [62]. Trasy planowe są szeregowymi strukturami niezawodnościowymi zatem w postępowaniu tym śledzona jest dwuelementowa wiązka celów: zapewnienie elastyczności czyli dużych i równomiernie rozłożonych cięć na wyznaczonych drogach alternatywnych oraz zapewnienie kontrolowania różnic w tych wartościach pomiędzy trasami z zachowaniem przyjętych założeń projektowych (jak koszty, poziom i równomierność obsługi transportowej obszaru).

Możliwość obciążenia wyznaczonych tras planowych oraz alternatywnych (czyli opisanych wcześniej ścieżek zdadności) ograniczona jest potencjałem eksploatacyjnym urządzeń liniowych infrastruktury transportowej, której typowymi przykładami są drogi samochodowe, drogi kolejowe, mosty itd. *Potencjał eksploatacyjny urządzania liniowego infrastruktury transportowej w danej chwili  $t$  określa wielkość obciążenia transportowego, jakie może ono przenieść począwszy od chwili  $t$  do czasu, gdy przynajmniej jeden strukturalny parametr eksploatacyjny osiągnie wartość krytyczną, co oznacza wyczerpanie zdolności użytkowych urządzenia liniowego infrastruktury transportowej.* [30]

Na opis urządzenia liniowego infrastruktury transportowej składać się więc będą: intensywność użytkowania, strukturalne parametry eksploatacyjne (zmienne w czasie eksploatacji i decydujące o zakwalifikowaniu urządzenia do stanu zdadności lub niezdadności), charakterystyki eksploatacyjne odpowiadające podstawowym rodzajom oddziaływań z otoczeniem (środkiem transportu; naturą jak np. czynniki klimatyczne; od-

działywaniem przekazany w trakcie obsługiwanego), potencjał eksploatacyjny, intensywność obsługiwanego, zespolone charakterystyki eksploatacyjne (wprowadzane w miejsce  $n$  strukturalnych pojedyncze parametry agregujące, syntetyczne parametry uwzględniające złożoność systemu). [30]

Najpełniej i najobszerniej ze wszystkich rodzajów systemów sieci sztywnotorowych opisana jest w literaturze kolej. Ze względu na konstrukcyjne podobieństwo do sieci tramwajowej tam gdzie jest to możliwe można się wspomagać w ich analizie badaniami kolejowymi lecz nie można tego uczynić w sposób bezpośredni. Największe różnice występują w dynamice ruchu z uwagi na większe prędkości występujące na kolei. Obciążenie linii tramwajowej w ciągu siedemnastu godzin ruchu na dobę szacuje się na około 33000 tonoprzejazdów (ton przemieszczonych po torze w każdym jego punkcie). Odpowiada to dobowej pracy toru kolejowego o średnim obciążeniu 12 pociągów towarowych i 20 pociągów osobowych. Należy uwzględnić przy tym odmienny charakter tego obciążenia. Po uwzględnieniu godzin szczytu obciążenia w ruchu tramwajowym jest to ok. 1760 t/h natomiast w ruchu kolejowym ok. 515 t/h. Jeśli uwzględnione zostanie większe dopuszczalne obciążenie koła kolejowego to w efekcie zużycie szyny kolejowej i tramwajowej nastąpi na podobnym poziomie w stosunku do przeniesionego łącznego obciążenia. Duża częstotliwość ruchu tramwajów o mniejszym obciążeniu daje w wyniku podobne zużycie szyn do ruchu kolejowego. Różne natomiast będą, ze względu na inny charakter obciążeń, podbudowy szyn na wydzielonym torowisku tramwajowym (można zastosować mniej kosztowne podbudowy torów w porównaniu do konstrukcji kolejowych). [55]

Przyjęcie kryteriów niezawodnościowych jako dominujących w budowie i eksploatacji sieci torowej nie zawsze sprawdza się w praktyce przy uwzględnieniu rachunku ekonomicznego. Problem ten wystąpił na kolei po załamaniu się rynku w 1980 roku, w wyniku czego liczba przewożonych ładunków i pasażerów zmniejszyła się o 70%<sup>2</sup>. Wystąpił wtedy przerost zdolności przewozowej infrastruktury sieci kolejowej względem potrzeb. Utrzymanie przejść torowych<sup>3</sup> w występującej liczbie stało się nieekonomiczne i zdecydowano się na jej zmniejszenie pomimo jednoczesnego utracenia z tego powodu elastyczności sieci torowej. Problem ten podjął m.in. W. Soja proponując metodę określającą przenoszone obciążenia przez rozjazdy dla wyznaczenia ich znaczenia w układzie torowym [84].

Podstawą dla współczesnych metod naukowych eksploatacji kolei (die eisenbahnbetriebswissenschaftliche Methoden) były doświadczenia zdobyte w czasie I Wojny Światowej [22]. Rozwój badań oraz procedur jakie dokonały się na „drugim froncie” we Francji opisali m.in. Ammer [2] oraz Jaennecke [33]. Sitzmann [80] jako kryteria wyodrębniania się nauk o eksploatacji kolei w tym procesie wyróżnił: zakłócenia pracy (Betriebsicherheit),

<sup>2</sup> Na podstawie danych o obciążeniach odcinków za 2001 rok, OBLIKO, PLK, Warszawa

<sup>3</sup> Przejście torowe jest to połączenie sąsiednich torów dwoma rozjazdami, które umożliwiają przejazd pociągu z jednego toru na drugi.

przepustowość (Leistungsfähigkeit), jakość (Transportqualität) i ekonomiczność (Wirtschaftlichkeit). Jednak już Ammer zauważa, że każda trasa kolejowa wymaga indywidualnego rozpatrywania a uogólnienia i porównania odnośnie przepustowości należy dokonywać bardzo ostrożnie i tylko dla przypadków o dużym stopniu podobieństwa.

Wśród techniczno-projektowych charakterystyk eksploatacyjnych transportu kolejowego najbardziej istotna, z punktu widzenia prezentowanej pracy, jest przepustowość. Procedur wyznaczania przepustowości na szlakach i w węzłach kolejowych jest bardzo dużo. Z ich przeglądem można zapoznać się m.in. w pracy Ossbergera [66]. Ossberger podaje również główne problemy związane z wyznaczaniem przepustowości. Mnogości wielkości charakteryzujących przepustowość występującej w opracowaniach teoretycznych nie towarzyszy spójna konwencja ich zastosowania i interpretacji. Procedury wyznaczania wielkości charakterystycznych wykazują wysoki stopień złożoności i trudności. Określane wielkości jakościowe i ilościowe rozpatrywane są rozdzielnie a ich połączenie wiąże się ze wzrostem trudności interpretacyjnej. Pomimo mnogości opracowań brak jednoznacznej terminologii stosowanej w publikacjach.

Najwyższe wartości przepustowości odnotowywane są w Japonii. Izolacja geograficzna wysp wraz z dużym popytem na przewozy pozwoliły na wysoki stopień optymalizacji organizacyjnej infrastruktury kolejowej, czego sztandarowymi przykładami są trasy z Yokohamy do Elbiny (linia Sotetsu) lub z Tokyo do Schin-Osaka (Tokaido/Sanyo Shinkansen). Właśnie tam występują najwyższe wartości przepustowości szlaku kolejowego na świecie. W warunkach europejskich wartościami odniesienia przy projektowaniu systemów kolejowych mogą być szwajcarskie linie (Brno — Solothurn, do 500 pociągów w ciągu dnia w obydwu kierunkach — w normalnych warunkach szwajcarskich jest to do 300 pociągów/dobę).

Związkom pomiędzy efektywnością i przepustowością sieci kolejowej dużo uwagi poświęcił Woch [102]. Kluczem do rozwiązania problemów w długim horyzoncie planowania efektywności kolei są straty jakości ruchu, które są nośnikiem kosztów eksploatacyjnych. Strata jakości ruchu determinowana jest stopniem wykorzystania przepustowości składników sieci, poziomem organizacji ruchu kolejowego oraz poziomem zawodności technicznej. Ponieważ sieć kolejowa jest przestrzenią, gdzie napięcia bilansu technologicznego (bilans potrzeb i możliwości wykorzystania sieci kolejowej oraz zaplecza utrzymania kolei) uwidaczniają się w formie strat jakości ruchu, analiza efektywności wykorzystania składników sieci uwzględniająca straty jakości ruchu ma znaczenie również w zagadnieniach efektywności wykorzystania taboru oraz utrzymania kolei.

W miarę zwiększania gęstości sieci oraz gęstości ruchu na kolei wzrasta znaczenie rozkładu potoków ruchu. W przypadku sieci tramwajowych regułą jest zarówno wysoka gęstość sieci jak i ruchu. Dodatkowo sieci te różni organizacja ruchu: m.in. w sieciach kolejowych następuje rezerwacja odcinka toru czego brak w sieciach tramwajowych. Brak



rezerwacji powoduje, że na odcinkach między skrzyżowaniami wystąpić może wysoka gęstość ruchu. W takiej sytuacji przepustowość ograniczana jest dodatkowo również poprzez rozwiązania zasilania pojazdów. Różnice te wpływają na konieczność adaptacji badań kolejowych bez możliwości bezpośredniego odniesienia w przypadku, gdy ich wyniki mają być uwzględniane w badaniu sieci tramwajowych.

Sieci tramwajowe w znacznej mierze współlistniają z ruchem samochodowym współdzieląc pasy ruchu poprzez zastosowanie torowisk zabudowanych w jezdnię. Bardzo niski stopień izolacji ruchu wymusza stosowanie kryteriów inżynierii ruchu drogowego uwzględniając poziomy swobody ruchu i inne zagadnienia wykraczające znacznie poza to co jest typowe dla sieci sztywnotorowych. Przepustowość dróg i ulic między skrzyżowaniami oraz na skrzyżowaniach drogowych z różną organizacją ruchu adekwatniej reprezentowana jest przez modele oparte na metodach typowych dla ruchu drogowego [18], gdzie dominację uzyskały pochodne amerykańskich metod HCM.

Tak szerokie spektrum zagadnień występujące w sieciach tramwajowych sprawia, iż systemy te należą wśród sieci sztywnotorowych do najbardziej złożonych. Dzięki tej złożoności sieci tramwajowe stanowią grupę, która traktowana jako złożone obiekty techniczne jest reprezentatywną dla dużej części sieci sztywnotorowych, znajdując podobieństwa względem największej ich liczby.

### **2.3. Wyznaczanie efektywności eksploatacji systemów transportowych**

Procesem eksploatacji nazywany jest *proces zmian własności obiektów, zarówno pozytywnych jak i negatywnych (z punktu widzenia efektywności wykonywania zadań)* [71], zatem jedynie prawidłowa eksploatacja stwarza warunki dla efektywnego działania.

Efektywność eksploatacji obiektu (ekonomiczna, określona jako relacja kosztów i efektów działania) *nie może być bezwzględną oceną jego przydatności, gdyż wartość efektywności zależy także od warunków eksploatacji, od sposobu konserwacji, napraw itp.* [71] czynników niezależnych od obiektu. Efektywność rozumiana wąsko, tylko w znaczeniu ekonomicznym, nie jest więc prawidłową ogólną miarą oceny systemów a w szczególności systemów składających się z obiektów technicznych oraz nie jest możliwe wyznaczenie wzorcowych wartości tej efektywności a jedynie porównanie systemów o zbliżonych charakterystykach. Jeśli kryteria oceny zdominowane zostaną przez efektywność ekonomiczną to działanie takie należy doprecyzować określając je m.in. jako *strategię według efektywności ekonomicznej* [103].

Efektywność w ujęciu ogólnym jest cechą systemu, która wiąże jego cele z pozosta-

łymi cechami, takimi jak [103]: skuteczność, spójność struktury, stabilność, sterowalność, adaptacyjność, gotowość, niezawodność, funkcjonalność, bezpieczeństwo itd.

Za główne kryteria oceny efektywności przyjmuje się [103, 64]:

- *kryteria operacyjne*, służące do oceny działania oraz stopnia osiągnięcia zamierzonych celów lub realizacji określonych potrzeb;
- *kryteria ekonomiczne*, służące do oceny dodatnich efektów (korzyści) i ujemnych (nakładów) działalności inwestycyjno-finansowej w systemie;
- *kryteria informacyjne*, służące do oceny organizacji systemu i przebiegów procesów informacyjnych oraz wyrażające wpływ systemu sterowania na działanie;
- *kryteria techniczne*, służące do oceny jakości elementów systemu, w tym środków działania oraz wpływu techniki na działanie;
- *kryteria eksploatacyjne*, służące do oceny funkcjonowania elementów i środków działania, wyrażające ich wpływ na zdolność systemu do bezawaryjnego funkcjonowania.

Systemy transportowe są systemami celowymi realizującymi jeden cel podstawowy lub wiązkę celów, co przejawia się dążeniem do tego aby sekwencja kolejnych stanów systemu zmierzała do stanu określonego jako zamierzony i docelowy. Stopień realizacji celu określa skuteczność. Na ogół skuteczność systemu jest warunkiem wstępnym i koniecznym dla oceny efektywności lecz nie jest to regułą. Występują bowiem również takie systemy gdzie warunek skuteczności staje się kryterium oceny efektywności.

Skuteczność jako kryterium oceny efektywności występuje m.in. w systemach wojskowych. Przykład mogą stanowić metody oceny efektywności eksploatacji wojskowych statków powietrznych. Rozpatruje się zarówno modele pomijające kryteria ekonomiczne efektywności, gdzie skuteczność jest kryterium dominującym oceny [95, 97, 98] jak i z uwzględnieniem kosztów [96].

*Przez pojęcie skuteczności statku powietrznego rozumie się prawdopodobieństwo porażenia celu w wyniku strzelania powietrznego lub bombardowania* [81], co wiąże się z dekompozycją na dwa podstawowe elementy: skuteczność statku powietrznego bez uzbrojenia oraz skuteczność broni pokładowej. Pomijając drugą składową, metody te można adaptować do oceny systemów cywilnych.

Działanie statku powietrznego charakteryzuje się cyklicznością. Pojedynczy cykl rozpoczyna się powrotem po wykonaniu zadania bojowego. Następnymi etapami jednego cyklu są: przygotowanie do następnego lotu oraz start i lot do celu (z wykorzystaniem środków bojowych). [94]

Stosuje się różne miary efektywności eksploatacji statku powietrznego, z czego najczęściej stosowane są [94]:

- wartość oczekiwana liczby zniszczonych celów określonych rodzajów w pojedynczym wylocie na zadanie lub w przyjętym cyklu działania,

- wartość oczekiwana liczby zniszczonych celów określonych rodzajów, w pewnym przyjętym przedziale czasu lub w całym okresie trwałości statku powietrznego,
- iloraz wartości oczekiwanej efektów do wartości oczekiwanej nakładów w odpowiednich jednostkach, w pewnym przyjętym przedziale czasu,
- iloraz wartości oczekiwanej efektów własnych do wartości oczekiwanej strat potencjalnego przeciwnika, w odpowiednich jednostkach w pewnym przyjętym przedziale czasu.

W modelach oceny efektywności eksploatacji zdominowanych przez skuteczność wyeksponowaniu podlegają związki między nieuszkodzalnością i skutecznością co jest charakterystyczne nie tylko dla systemów wojskowych. *Jedną z miar związku wskaźników nieuszkodzalności i skuteczności funkcjonowania systemu może być współczynnik korelacji między stanami niezawodnościowymi obiektu i stanami efektywnościowymi systemu transportowego* [36].

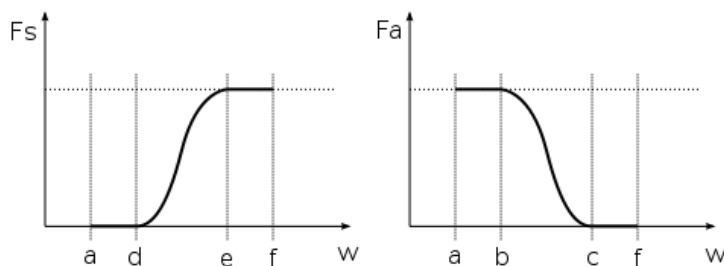
W złożonych systemach transportowych, gdzie o dostęp do infrastruktury rywalizują różne grupy [54] (w ruchu drogowym: pojazdy w ruchu ogólnym, pojazdy komunikacji zbiorowej, piesi i rowerzyści) jednym z warunków poprawnej oceny skuteczności jest stopień izolacji analizowanej sieci transportowej. Dla rozwiązania sytuacji konfliktowej pomiędzy grupami użytkowników w zależności od stopnia izolacji stosować się będzie inne reguły optymalizacji sterowania ruchem.

W ruchu drogowym szczególnie widoczne jest to na skrzyżowaniach, których efektywność funkcjonowania określić można przy pomocy trzech grup mierników [18]:

1. związane z przepustowością (przepustowość, rezerwa przepustowości, stopień obciążenia, ...),
2. związane z tworzeniem się kolejek pojazdów (średnie przeciętne straty czasu, średnie straty zatrzymania, poziom swobody ruchu, liczba zatrzymań, średnia długość kolejki, straty czasu przypadające na osobę, ...),
3. związane z oddziaływaniem na środowisko (zużycie paliwa, emisje  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $CH$ , ...).

Ocena jakości w tych systemach wynika przy tym głównie z wyznaczonych funkcji satysfakcji  $F_s$  z danego obiektu oraz akceptacji niedogodności  $F_a$  związanych z obiektem (rys. 2.3).

W sieciach kolejowych, charakteryzujących się znaczną izolacją od innych systemów transportowych określonych przez różne grupy użytkowników oraz dużym stopniem regulacji, analizie podlega efektywność wykorzystania sieci w planowaniu krótko- i długookresowym. W planowaniu krótkookresowym dla zapewnienia efektywności sterowania ruchem dąży się do minimalizacji zmian rozkładu jazdy, które prowadzą do obniżenia jakości usług przewozowych oraz zwiększenia kosztów własnych kolei. Niski poziom algorytmizacji organizacji ruchu w sieciach kolejowych prowadzi do stosowania rozwią-



Rysunek 2.3. Funkcje: satysfakcji  $F_s$ , akceptacji  $F_a$  (parametry  $a, b, c, d, e, f$  wymagają kalibracji dla danego przypadku, zmienna funkcji oznaczona jest ogólnie jako  $w$ )

Źródło: Kruszyna M., Optymalizacja sterowania ruchem drogowym nakierowana na wymagania użytkowników z różnych grup, VI konferencja naukowo-techniczna z cyklu: Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego, 23 - 25 maja 2007, Poznań

zań otrzymywanych w wyniku symulacji. W planowaniu długookresowym działalności kolejowej celem głównym jest przygotowanie odpowiedniej zdolności przewozowej czyli przepustowości sieci oraz zdolności przewozowej taboru. Analiza poziomu efektywności wykorzystania sieci kolejowej w sterowaniu ruchem opiera się na ocenie jakości ruchu kolejowego determinowanej wykorzystaniem sieci oraz zawodnością środków przewozowych. [102]

Tak więc efektywność systemu transportowego, tak jak w podanym przypadku kolei lub ruchu drogowym, może być określona pośrednio oraz ograniczona (w podanych przykładach: przez sterowanie ruchem).

Efektywność działania systemów transportowych zawarta jest, podobnie jak w metodach oceny rozwiązań sterowania ruchem, w modelach opisujących ich *opłacalność*. Analiza opłacalności polega głównie na wyznaczeniu rentowności danego elementu infrastruktury uwzględniając jego otoczenie oraz prognozy wykorzystania [68] lub maksymalnego okresu eksploatacji taboru czy też podjęcia decyzji o dopuszczalności zakupu eksploatowanych wcześniej środków transportu [14]. Wyznaczone progi rentowności, charakterystyki eksploatacyjne odniesione do prognozy zapotrzebowania na przewozy oraz rachunek ekonomicznej efektywności inwestycji stanowiąc mogą podstawę decyzji o doborze środków transportu zarówno w transporcie wewnętrznym [3] jak i transporcie dalekim [76] determinując ich efektywność w całym okresie eksploatacji.

Z uwagi na traktowanie eksploatacji jako ukrytego elementu pomocniczego procesów produkcyjnych, który nie występuje jako oddzielna jednostka kalkulacyjna kosztów, efektywność ekonomiczna rozumiana jako efektywność środków trwałych nie jest obszernie opisana w literaturze. Z tego też powodu występuje potrzeba prowadzenia badań oraz opracowania modelu efektywności eksploatacji obiektów technicznych, zwłaszcza gdy uwzględniony zostanie wzrost popularności logistyczno-marketingowej strategii zarządzania [64]. Model taki powinien obejmować [64]:

- metody badań ekonomicznych systemów eksploatacji,
- kryteria i metody efektywnościowe sterowania eksploatacją systemów technicznych,
- kryteria i metody ekonomiczne badań systemów eksploatacji,
- rozwój metod ekonomiki eksploatacji.

W analizie efektywności eksploatacji środków trwałych zalecane jest przy tym wykorzystanie informacji takich jak [64]: wskaźnik struktury środków trwałych, stopień zużycia środków trwałych i ich poszczególnych grup, współczynnik odtworzeń środków trwałych, współczynnik reprodukcji środków trwałych, współczynnik odnowy środków trwałych, współczynnik natężenia napraw (remontów) środków trwałych, wskaźnik produktywności (efektywności) środków trwałych, jako elementów tworzonych wskaźników cząstkowych, które charakteryzują poszczególne części działalności przedsiębiorstwa.

Efektywność (ekonomiczna)  $E$  funkcjonowania dowolnego systemu eksploatacji ocenia się najczęściej, ogólnie mówiąc, poprzez porównanie nakładów  $W$  oraz efektów  $N$  jako funkcję  $E = f(W, N)$ . W zależności od celu, obliczeń elementów cząstkowych wskaźnika, można to określić jako:

$$E = W - N \quad (2.8)$$

jeśli wyrażone wielkości określone są w tych samych jednostkach, lub

$$E = \frac{W}{N} \quad (2.9)$$

jeśli wystąpić mogą też różne jednostki wielkości składowych wskaźnika.

Pomiar efektywności jest przy tym częścią *rachunku ekonomicznego*, który rozumie się jako zagadnienie optymalizacji podejmowania decyzji w wyborze rozwiązań powodujących skutki ekonomiczne [45].

Tak pojmowany rachunek ekonomiczny stosowany jest powszechnie w ekonomice transportu [28, 72]. Literatura ekonomiki transportu zwraca przy tym szczególną uwagę na rozróżnienie pomiędzy *przedmiotową* i *podmiotową oceną efektywności* [59] oraz na różnice pomiędzy *efektywnością ekonomiczną* i *finansową* [52].

W ocenie przedmiotowej brana jest pod uwagę sama inwestycja, charakteryzowana w sposób możliwie obiektywny. Ocena podmiotowa uwzględnia zaś sytuację inwestującego. Najlepszy wariant w kategoriach oceny przedmiotowej nie zawsze jest wybierany jako lepszy, gdyż zwyciężają względy podmiotowej oceny efektywności, uwzględniające aktualną sytuację w której znajduje się inwestujący.

Rozróżnienie to pokrywa się z semantyką pojęć efektywności finansowej i ekonomicznej. W przypadku efektywności finansowej ewaluacja efektywności dokonywana jest z punktu widzenia inwestora zaś w przypadku efektywności ekonomicznej w szerszym ujęciu ogólnospołecznym. Prace dotyczące ekonomiki transportu biorą przy tym pod uwagę charakterystykę eksploatacyjną przedsiębiorstwa jako dodatkowy parametr oceny uwzględniając

m.in. potencjał przewozowy, gotowość techniczną taboru, wykorzystanie czynników produkcji niezależnie od efektywności [61].

Poniesione koszty i nakłady można zdefiniować i określić teoretycznie, trudniej jest przeprowadzić ten rachunek w praktyce z uwagi na prowadzoną ewidencję kosztów oraz przydzielenie ich poziomemu poszczególnym działaniom. O wiele trudniejsze jest określenie efektów działania/użytkowania, które dzielą się na trzy grupy: łatwo wymierne, trudno wymierne i niewymierne. Efekty łatwo i trudno wymierne to efekty użytkowe oraz oszczędności, można je obliczyć ujmując w formułę matematyczną. Efekty niewymierne określane są w sposób opisowy z uwagi na niewykonalność oceny drogą obliczeń normatywnych. [45]

Przeprowadzana analiza efektywności środków trwałych prowadzona jest na ogół w czterech etapach [67]:

1. wstępna ocena syntetyczna z wykorzystaniem wskaźników opisujących w sposób ogólny wynik pracy środków trwałych;
2. analiza czynnikowa efektywności, w której szczegółowej ocenie podlegają (wyznaczone w I etapie) czynniki wpływające w analizowanym okresie na poziom efektywności;
3. analiza przyczynowo-skutkowa w zakresie wykorzystania środków trwałych, przez ustalenie wpływu zmiennych egzogenicznych (czynników sprawczych) na globalne odchylenie wskaźników syntetycznych (mierników oceny);
4. wariantowanie decyzji, poprzez wykorzystanie wyników przeprowadzonych badań dla celów zarządzania środkami trwałymi.

Rozważa się przy tym efektywność inwestycji, odnowy oraz bieżącej eksploatacji obiektów technicznych z uwzględnieniem amortyzacji środków trwałych.

Nurt badań dotyczących metod oceny oraz tworzenia modeli efektywności inwestycji wywodzi się z ekonomiki przemysłu będąc odpowiedzią na konieczność alokacji ograniczonych zasobów i sięgając tym sposobem do podstaw teorii ekonomii [52].

Ekonomiczną efektywność przedsięwzięć inwestycyjnych wyznaczają trzy naturalne czynniki [59]: relacja między nakładami a efektami, czas, stopa procentowa (dyskontowa) jako parametr rachunku.

Relację między nakładami a efektami najczęściej definiuje się w literaturze poprzez wyrażenia:

$$P - K - I \quad \text{lub} \quad \frac{P - K}{I} \quad \text{lub} \quad \frac{I + K}{P} \quad \text{lub} \quad \frac{P}{I + K}, \quad (2.10)$$

gdzie:  $P$  - efekt produkcji,  $K$  - koszt eksploatacji,  $I$  - nakład inwestycyjny.

Znaczną trudność stanowi oszacowanie przewidywanych kosztów utrzymania i eksploatacji infrastruktury, które zazwyczaj *oparte jest na analizie kosztów historycznych, poniesionych przez zarządcę infrastruktury na bieżące utrzymanie, konserwację, remonty i eksploatację analizowanej linii w okresie poprzedzającym modernizację*

[52]. Jeśli projektowany jest nowy odcinek linii można oprzeć się na danych pochodzących z trasy o jak najbardziej podobnej charakterystyce.

Czas, który definiuje okres zamrożenia środków a przez to powoduje konieczność oczekiwania na zwrot poniesionych kosztów, jest czynnikiem wpływającym na trudności w porównaniu poszczególnych wielkości z różnych etapów analizowanego przedsięwzięcia inwestycyjnego.

Długotrwałość i niezmienność infrastruktury technicznej transportu powoduje, że jej uzupełnianie lub unowocześnianie powinno być nie tylko dokonywane proporcjonalnie do przyrostu zadań transportowych ale i uwzględniać oddziaływanie na inne obszary działalności z odpowiednim wyprzedzeniem.

Biorąc pod uwagę skokowy wzrost przepustowości w następstwie modernizacji infrastruktury technicznej naturalne jest występowanie okresowej nadmiarowości względem potrzeb a same inwestycje powinny być dostosowane do granicy założonego przyrostu skokowego [57]. Planowanie inwestycji w oparciu o prognozę zapotrzebowań wpływa przy tym również na ocenę efektywności.

Stopa procentowa (dyskontowa) jako procedura sprowadzająca wielkości z różnych okresów lub terminów do jednego punktu w czasie umożliwia porównanie wyników z pomiarów dokonanych niejednocześnie.

Przy założeniu warunków deterministycznych do metod wyznaczania efektywności rzeczowych przedsięwzięć inwestycyjnych zalicza się [59]:

- przy rachunku pieniężnym oraz dla pojedynczego przedsięwzięcia inwestycyjnego metody statyczne i dynamiczne dla zagadnień mikroekonomicznych oraz analizę korzyści i kosztów dla analizy makroekonomicznej,
  - przy rachunku niepieniężnym oraz dla pojedynczego przedsięwzięcia inwestycyjnego analizę wartości użytkowych,
  - programy inwestycyjne: klasyczne podejście wywodzące się z teorii kapitału, kombinowane modele rozwiązywane metodami programowania liniowego,
- zaś w warunkach niedeterministycznych dla pojedynczego przedsięwzięcia inwestycyjnego: metody korekcyjne, analiza wrażliwości, analiza ryzyka, metoda drzewa decyzyjnego, oraz programy inwestycyjne: analiza wrażliwości CCP (Chance Constrained Programming), metoda Portfolio. które wyczerpująco objaśniono w [59].

Przedsięwzięcia infrastrukturalne transportu są projektami o dużym zaangażowaniu kapitału<sup>4</sup>. Dla takich przedsięwzięć wymagana jest analiza CBA (cost-benefit analysis)

---

<sup>4</sup> Przykład: Koszt budowy linii tramwajowej Pętla Banacha — Wilanów (ok. 12km, 48 przystanków, oraz zakup 39 szt. taboru) w roku 2004 na podstawie analizy wykonanej przez firmę FaberMaunsell Ltd. w ramach *Studium wykonalności wraz z koncepcją przebiegu trasy tramwajowej dla projektu »Budowa trasy tramwajowej od pętli Banacha do Wilanowa«* oszacowano na ok. 530 mln zł. Wycenę wykonano przede wszystkim w oparciu o Instrukcję IBDiM

w celu określenia właściwej alokacji dostępnych zasobów oraz jako warunek formalny w procedurach pozyskania wymaganego kapitału. Dla prawidłowego wykonania analizy ekonomicznej opracowano szereg wytycznych, z których wymienić należy m.in:

- Analiza kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych. Przewodnik. Dyrekcja Generalna – Polityka Regionalna, Komisja Europejska 2003,
- Instrukcja oceny efektywności ekonomicznej przedsięwzięć drogowych i mostowych, IBDiM 2005
- Niebieska Księga. Podręcznik dla beneficjentów. Analiza kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych w sektorze transportu, Warszawa 2006,
- Wytyczne dotyczące przygotowania Studiów Wykonalności w zakresie transportu publicznego, ZPORR, 2004,
- Wytyczne dotyczące przygotowania Studiów Wykonalności w zakresie infrastruktury drogowej, ZPORR, 2004.

Przeprowadzone analizy wymagają podania wytycznych w oparciu o które zostały przeprowadzone, gdyż z uwagi na różnice pomiędzy instrukcjami wyniknąć mogą poważne błędy interpretacyjne.

Przykłady rachunkowe wyznaczania efektywności ekonomicznej inwestycji transportowych dla przypadku transportu miejskiego (linia tramwajowa) przeprowadzono w [89], dla kolei omówiono w [52], zaś dla stacji obsługi w [16].

Po podjęciu decyzji o inwestycji oraz implementacji modernizacji, dokonaniu rozbudowy lub realizacji nowego przedsięwzięcia, w fazie jego eksploatacji dalsze sterowanie odbywa się poprzez stosowanie *zasad racjonalnego gospodarowania*, którego miarą jest efektywność [17].

O. Lange wyróżnił dwie podstawowe zasady racjonalnego gospodarowania: największej wydajności (efektu) oraz najniższych kosztów (nakładów) lub oszczędności środków, poprzez osiągnięcie zakładanego stopnia realizacji zadania przy użyciu minimalnej ilości środków. Lange nie dopuszcza trzeciej strategii mieszanej polegającej na jednoczesnej minimalizacji kosztów i maksymalizacji efektów, uważając iż nie można pogodzić tych sprzecznych ze sobą celów. [45]

Oznacza to, iż możliwa jest minimalizacja kosztów przy z góry założonym poziomie realizacji celu lub maksymalizacja efektów przy ustalonym poziomie kosztów.

Ocena efektywności ekonomicznej działającego systemu eksploatacji odbywa się na trzech poziomach szczegółowości: ogólnym poprzez wskaźniki syntetyczne, wieloskładnikowym poprzez połączenie ocen cząstkowych we wskaźniki zagregowane oraz wskaźniki cząstkowe [45]. Przyjęty w analizie zestaw wskaźników powinien być przy tym spójny, tzn. wskaźniki i mierniki elementarne powinny tłumaczyć wyniki wskaźników zagregowanych i syntetycznych.



Jako uproszczony wskaźnik oceny efektywności ekonomicznej  $E$  dopuszcza się również [45]:

$$E = \frac{K_1}{K_2} \quad (2.11)$$

jako proporcję kosztów eksploatacyjnych systemu już funkcjonującego  $K_1$  i kosztów eksploatacji obliczonych w trakcie symulacji nowego systemu  $K_2$ .

Wśród wskaźników oceny efektywności eksploatacji maszyn Z. Cygan oprócz efektywności ekonomicznej proponuje przyjąć m.in. [17]: wskaźnik technicznego wykorzystania maszyny, średnią masę maszyny na jednostkę zainstalowanej mocy, wskaźnik wykorzystania maszyny w pracy, wskaźnik intensywności obsługi maszyn, wskaźnik efektywności ekonomicznej obsługi maszyn jako jej uzupełnienie. Bogaty zestaw wskaźników syntetycznych zawarto m.in w [45] zaś wskaźników analitycznych w [16].

W praktyce gospodarczej bardzo często przy ocenie efektywności ekonomicznej znikają z pola widzenia wskaźniki techniczno-ekonomiczne eksploatacji maszyn i urządzeń technicznych, pomimo wykazywanego wcześniej ich znaczenia [17].

Wśród modeli efektywności eksploatacji środków transportu znaczącą grupę stanowią modele Markowskie zaliczające się do efektywnościowo-niezawodnościowych (np. dla okrętu [11], dla samochodu [83]).

W pracy [83] Smalko przedstawił metodologię budowy syntetycznego modelu systemu transportowego z gotowym algorytmem projektowania systemu eksploatacyjnego.

Model opiera się głównie na podstawach eksploatacji technicznej, badań operacyjnych, teorii masowej obsługi, utrzymania maszyn w ruchu, matematycznej teorii niezawodności, teorii odnowy, teorii sterowania, regulacji, ekonometrii, teorii podejmowania decyzji wraz z uwzględnieniem w przyjętym postępowaniu analizy systemowej. Jest to więc model kompleksowy o dużym stopniu złożoności. Oprócz połączenia tych różnych elementów oceny centralne znaczenie stanowi w tej pracy uwzględnienie stanowości każdego systemu transportowego.

Zagadnienie modeluje się w oparciu o grafy, które następnie są rozwiązywane przy pomocy *teorii procesów Markowa* [32]. Prezentowany model związany jest zatem z przyjęciem mocnych założeń co do samego uproszczenia analizowanego fragmentu rzeczywistości. Ocena prawdopodobieństwa znalezienia się systemu w zadanym stanie eksploatacyjnym obarczona jest ograniczeniem będącym podstawą definicji procesów markowskich poprzez przyjęcie braku pamięci. Wyraża się to tym, że dany stan zależy tylko i wyłącznie od stanu go poprzedzającego. Nie zależy zaś od stanów go poprzedzających.

Zakłada się, że intensywności uszkodzeń oraz odnowy wszystkich elementów analizowanego systemu są stałe w funkcji czasu, co szczególnie w przypadku założenia odnoszącego się do odnowy elementów wymaga weryfikacji w systemach rzeczywistych.

Metodologia budowy docelowego modelu jest wieloetapowa. Poszczególne etapy nie są

przy tym traktowane jako fazy przejściowe do osiągnięcia postaci końcowej lecz same w sobie stanowią dodatkową wartość poznawczą. Wyróżnia się następujące elementy:

- budowanie grafu idealnego systemu użytkowania,
- tworzenie nominalnego systemu eksploatacyjnego,
- określenie grafu rzeczywistego systemu eksploatacyjnego.

Graf idealnego systemu użytkowania jest poziomem największego uproszczenia obserwowanych zjawisk. Opis systemu pomija występowanie zakłóceń spowodowanych nierównomiernością obsługiwanego technologicznego. System opisują charakterystyki ruchu pojazdów oraz obsługiwanego technologicznego. Pierwszy etap modelowania pozwala m.in. na określenie wydajności projektowanego systemu transportowego.

Graf nominalny obejmuje użytkowanie obiektów zdalnych wraz z obsługiwaniem obiektów niezdatnych. Następuje to nadal w warunkach braku zakłóceń spowodowanych nierównomiernością zarówno obsługiwanego technologicznego jak i obsługiwanego technicznego. Na parametry modelu ma już wpływ przyjęta strategia utrzymania pojazdów w wymaganym stanie technicznym. Etap ten uwzględnia również oszacowanie średnich czasów przebywania w kolejkach przed przejściem do stanu obsługiwanego, liczbę zajętych stanowisk obsługi itp.

Graf rzeczywistego systemu eksploatacyjnego odwzorowuje zarówno zakłócenia spowodowane zawodnością pojazdów jak i nierównomiernością obsługiwanego technologicznego i technicznego. Model ten w ostatecznej swej postaci odwzorowuje zarówno prawdopodobieństwo przebywania systemu w dozwolonych stanach jak i wyznacza liczbę potrzebnych stanowisk obsługowych oraz ich zajętość.

Na podstawie tak zbudowanego modelu Smalko dochodzi do wielu interesujących wniosków. Stwierdza m.in. liniową zależność wydajności systemu transportowego od gotowości technicznej pojazdów.

Pomimo tak obiecujących wyników pamiętać należy, iż podstawą budowy tych modeli jest proces Markowa z uproszczeniami rachunkowymi jako ograniczeniami założeń. Osłabienie założeń występujących w procesach markowskich prowadzi do budowania modeli w oparciu o łańcuchy semi-Markowa [25].

Semi-markowskie modele eksploatacji środków transportu obejmują zarówno grupę zbliżoną do podejścia charakterystycznego dla efektywności ekonomicznej [43], gdzie za kryterium optymalizacji przyjmuje się średni dochód otrzymany w jednostce czasu w wyniku długiego czasu użytkowania wyznaczając czas użytkowania do obsługi profilaktycznej jak i grupę uwzględniającą inne charakterystyki eksploatacyjne jako kryteria optymalizacji, np. współczynnik gotowości [44].

Ogólny model semi-markowski systemu transportowego, o dużym stopniu uogólnienia, który pomija specyfikę konkretnej implementacji dla systemu rzeczywistego i skupia się na diagnostyce technicznej jako podstawie podejmowania decyzji eksploatacyjnych

przedstawili Żółtowski i Niziński [106].

Znacząca rola przypisywana diagnostyce technicznej wynika z faktu iż jej zadaniem jest określenie stanu obiektu technicznego, zarówno w przeszłości jak i teraźniejszości oraz prognozowanej przyszłości.

Żółtowski i Niziński zwracają uwagę na to by oceniać przyjętą strategię eksploatacji właśnie pod kątem jej efektywności. Składowymi wskaźnika efektywności są: oczekiwany czas pracy oraz rzeczywisty czas pracy maszyn.

Modele powstałe w oparciu o prowadzoną diagnostykę techniczną obejmują dodatkowo, wobec wcześniej wymienionych, efekty utraty własności obiektów w trakcie eksploatacji (starzenie się). Stwierdzono już wcześniej, iż efektywność potencjalna ulega obniżeniu, ale nie było to oparte o rzeczywisty stan eksploatacyjny obiektu technicznego a jedynie poprzez określenie zmniejszenia efektów uzyskiwanych w procesie eksploatacji maszyny lub urządzenia.

Autorzy modelują proces eksploatacji za pomocą łańcuchów semi-markowskich. Proces semi-Markowa różni się od procesu Markowa tym, że w procesie Markowa czasy przebywania procesu w stanach są zmiennymi losowymi o rozkładzie wykładniczym, podczas gdy w procesie semi-Markowa mogą one mieć rozkład dowolny. Z tego też powodu proces semi-Markowa lepiej opisuje procesy eksploatacji obiektów technicznych niż proces Markowa.

Pracę Żółtowskiego i Nizińskiego można potraktować w zakresie objętym w pracy Smalki jako kontynuację poruszanych przez niego kwestii.

Na podstawie cytowanej literatury dotyczącej modelowania stwierdzają ponadto, że *do wskaźników efektywności charakteryzujących efektywność funkcjonowania obiektów technicznych można zaliczyć: prawdopodobieństwa przebywania obiektów w poszczególnych stanach, prawdopodobieństwa przejścia między stanami, wartości oczekiwane trwania poszczególnych stanów, współczynnik gotowości i inne.*

Podobnie jak u Smalki ostateczny model eksploatacji z uwzględnieniem jego efektywności budowany jest etapami. Różnicą jest to, iż ze względu na wspomniane wcześniej przyjęcie diagnostyki technicznej jako podstawy modelowania obiektów technicznych autorzy wychodzą od modelu, gdzie kryterium oceny jest stan techniczny urządzeń. W następnych krokach poprzez model uwzględniający kryterium ekonomiczne kolejno dochodzą do modelu uwzględniającego zakłócenia.

Żółtowski i Niziński osobno ustosunkowują się do oceny efektywności systemów działania, lecz nawiązują równocześnie do wcześniej opisanych modeli. Określając związki modeli matematycznych z efektywnością funkcjonowania systemów działania stwierdzają, iż *charakterystykami procesów Markowa jako miernikami decyzyjnymi sterowania eksploatacją obiektów technicznych są: mierniki czasu oraz współczynniki i mierniki wartościowe.*

Większość autorów przyjmuje, że modele markowowskie i semi-markowowskie są przybliżeniami właściwej oceny, której najdokładniejszy poziom zapewnia symulacja.

Opisane wcześniej modele efektywnościowo-niezawodnościowe reprezentują grupę metod oceny systemów eksploatacyjnych. Zbiór ten zawiera szerokie spektrum spojrzenia na system transportowy, obejmując miary oceny zarówno techniczne (m.in. trwałość, gotowość, intensywność uszkodzeń) jako i ekonomiczne (takie jak zysk lub dochód) [101] stanowiąc swego rodzaju rozwinięcie występujących już wcześniej wskaźników ekonomiczno - technicznych [16]. Modele te deklarowane są w literaturze zarówno jawnie jako efektywnościowo - niezawodnościowe [9, 10] jak i jako modele niezawodnościowe systemów transportowych [27] w których ocenie podlega zbiór stanów intencjonalnych systemu przez określenie jego charakterystyk niezawodnościowych dla oceny racjonalności działania.

O ile opracowania dotyczące analiz efektywności eksploatacji środków transportu występują w dużej liczbie publikacji [74], to modele sieci transportowej występują w nich o wiele rzadziej. Rozpatrując sieci transportowe z punktu widzenia efektywności ich topologii rozróżnić należy podział na sieci sztywnotorowe oraz pozostałe. W przypadku sieci sztywnotorowych modelowane są m.in. układy komunikacji zbiorowej sieci tramwajowej, zaś w grupie pozostałych znajdują się przede wszystkim sieci dróg ruchu samochodowego. Z uwagi na odmienny charakter modelowanych sieci różny jest układ priorytetów projektowych zgodnie z tendencjami przedstawionymi w opisie efektywności inwestycji przedsięwzięć transportowych. Dla ruchu samochodowe są to więc głównie analizy porównawcze scenariuszy rozwiązań uwzględniające m.in. czasy podróży, jednostkowe koszty użytkowników oraz czynniki wykraczające poza inżynierię ruchu (plany zagospodarowania, wpływ na rodzaj i nasilenie aktywności gospodarczej w regionie, itp.) jak w przypadku planowania obwodnic miast [65]. Modele sieci transportowych sztywnotorowych występujące w literaturze ze względu na swoją charakterystykę (stałe trasy linii, podatność na kontrolowane sterowanie ruchem w sieci, itd.) koncentrują się na innych priorytetach w doborze kryteriów oceny, w tym ocenie efektywnościowo-niezawodnościowej [21]. Przy czym właśnie w przypadku sieci sztywnotorowych z uwagi na bardziej intensywną zależność pojazd-infrastruktura z konsekwencją dla przepustowości i elastyczności potoków ruchu opracowania takie są bardzo pożądane.

Odmiennie podejście podczas analizy systemów sztywnotorowych w postrzeganiu kryterium niezawodności przy ocenie efektywności systemów transportowych występuje nawet w przypadku modelu systemu transportowego ze stałymi trasami [15] w odniesieniu do sieci tramwajowej [21].

Dudek [21] modeluje system transportu miejskiego sieci tramwajowej w oparciu o kryterium czasu podróży oraz jego komfortu w połączeniu z prawdopodobieństwem osiągnięcia celu we wcześniej zaplanowanym czasie, co określa jako niezawodność podróży. Niezawodność określana jest z uwzględnieniem wielkości potoku podróży. W modelu tym

niezawodność węzłów sieci przeniesiona jest na odcinki je łączące, które są elementarnymi składowymi sieci determinującymi poziom niezawodności całego systemu. Niezawodność takiej sieci rośnie bardziej w miarę uzupełniania o powiązania alternatywne niż dzięki modernizacji istniejących odcinków sieci. Analizie podlegają wszystkie połączenia alternatywne pomiędzy krańcami linii których czas podróży jest równy lub mniejszy od czasu planowego, co jest założeniem które na drugi plan spycha istotność pokonania trasy normalnej. Nowe połączenia poprawiają ocenę całego systemu tylko wówczas, gdy zachowują wysoki stopień izolacji od innych rodzajów systemów transportowych co jest zgodne ze wcześniej rozpatrywaną analizą przepustowości sieci sztywnotorowych.

System transportowy ze stałą trasą oraz jedną trasą alternatywną opisywany przez Cabana i Walkowiaka [15] jest ideowo zbliżony do systemu sztywnotorowego. Miary niezawodności oparte są na sprawności będącej wielkością problematyczną z powodu niejednoznaczności jej kryteriów w sieci. Sprawność przewozów analizowanej trasy określa stosunek rzeczywistego natężenia ruchu na tej trasie w określonym horyzoncie czasowym do oczekiwanego (popytu).

W obu przypadkach infrastruktura transportowa traktowana jest bardziej jako otoczenie generujące zakłócenia w sieci (stanowiąc warunki eksploatacji pojazdu [56]) niż sam system podlegający analizie.

Analiza niezawodności i efektywności sieci transportowej należy do zagadnień złożonych obliczeniowo do rozwiązania których często stosuje się metody numeryczne (np. w [15] są to: numeryczna analiza markowskiego procesu odnowy, symulacja czasowa połączona z *analizą Monte Carlo* [5, 13], uproszczona symulacja z losowaniem stanów).

W modelach efektywnościowo-niezawodnościowych punkt ciężkości analizy położony jest najczęściej przede wszystkim na proces realizujący funkcje danego obiektu. W modelach oceny efektywności eksploatacji technicznych systemów z uwzględnieniem teorii odnowy analiza skupiona jest głównie na samym obiekcie.

Techniczne systemy eksploatacji zgodnie z modelami uwzględniającymi teorię odnowy składają się z elementów głównych dających efekty finalne oraz systemów pomocniczych umożliwiających prawidłową eksploatację elementów głównych systemu. Efekty końcowe zależą więc od działania całości systemu.

Do podstawowych charakterystyk niezawodnościowych takiego systemu zalicza się: funkcję odnowy, gęstość odnowy, współczynnik gotowości, prawdopodobieństwo bezawaryjnej pracy w odcinku czasu. Po uzupełnieniu o pracę przewozową (obejmującą: ładunek, trasę, czas) wymienione charakterystyki niezawodnościowe stają się podstawą miar efektów [93].

Sumaryczny efekt jak również sumaryczny koszt eksploatacji systemu w pewnym przyjętym przedziale czasu są zmiennymi losowymi. Funkcja efektywności  $\Omega_t = \Omega(E[Z_t], E[K_t])$ , gdzie  $E[Z_t]$  jest wartością oczekiwaną efektów a  $E[K_t]$  wartością oczekiwaną kosztów

eksploatacji systemu wyrażona jest w postaci [93]:

$$\Omega = \frac{E[Z_t]}{E[K_t]} \quad , \quad \text{lub} \quad \Omega = E[Z_t] - E[K_t]. \quad (2.12)$$

Model efektywności systemu sztywnotorowego, który jest tematem niniejszej pracy jest modelem efektywnościowo - niezawodnościowym. Budując ten *model matematyczny* [29] sieci infrastruktury uwzględniane są zarówno składowe eksploatacyjne obiektów technicznych [46] jak i organizacyjno - strukturalne systemów działania [47]. Z tego też powodu głównym kryterium globalnym oceny w modelu nie jest wydajność (jak w analizie systemów obiektów technicznych [4]) lecz efektywność, której znaczenie jest na tyle istotne, że jej wyznaczenie (określenie kryteriów i miar) stanowi etap modelowania (zgodnie z podejściem przedstawionym w [60]).

Traktując sieć infrastruktury jako jeden wieloelementowy obiekt, liczba stanów jaka w nim występuje jest ogromna. Ważny element opisu stanowi również topologia tej sieci która jest główną jej charakterystyką. Złożoność tak reprezentowanej sieci sztywnotorowej powoduje, iż jej analiza nastęrcza wiele trudności. Podjęte próby m.in:

- budowy modelu bayesowskiego [26] zgodnie z typowym podejściem spotykanym w niezawodności,
- modelowania sieci jako *sieci Petriego* [75] stosowanych zarówno w modelowaniu systemów produkcyjnych [87] jak i analizie niezawodności [77] zgodnie ze zbieżnym polem zastosowań,
- wykorzystania *badania operacyjnych* [31] biorąc pod uwagę zastosowanie w planowaniu sieciowym [40] oraz powszechne wykorzystanie w transporcie [38],

jak i zastosowanie innych stosowanych w transporcie metodologii opisanych wcześniej nie przyniosły pozytywnych rezultatów.

Wykonane badania literaturowe wykazały potrzebę oraz zasadność zdefiniowania nowej klasy systemów eksponujących specyficzne własności transportu sztywnotorowego oraz przedstawienie metody ich oceny. Odnosząc się do podobnych zakresem współczesnych opracowań przytoczonych w przeglądzie literaturowym, których tematem jest model efektywnościowo - niezawodnościowy systemów o znamionach sieci sztywnotorowych, prezentowana w pracy niezawodność ujęta jest inaczej niż w [21], choć znajduje wiele punktów zbieżnych. Przede wszystkim, Dudek w analizie wychodzi od realizowanego procesu transportu, którego elementami są pokonywane odcinki międzywęzłowe zaś w prezentowanej pracy proponuje się bezpośrednią ocenę odcinka traktowanego jako obiektu technicznego i późniejszą agregację wyników na całej linii. Przyjęto również inne kryteria w ocenie.

Praca jest natomiast zasadniczo różna w ujęciu niezawodności od przedstawionego wcześniej modelu Cabana i Walkowiaka [15], który uznany został za zbyt ogólny a przyjęte

kryteria opisu jako nie dominujące w prezentowanej perspektywie oceny eksploatacji sieci sztywnotorowych.

## 2.4. Cel pracy

Analiza przedstawionej grupy metod oceny systemów eksploatacji złożonych z obiektów technicznych skłania do tego aby postawić pytanie o możliwość zbudowania modelu wspomagającego procesy decyzyjne w ramach zdefiniowanego obszaru badań. W wyniku przeprowadzonych badań podjęto decyzję o zaproponowaniu nowego zapisu wyróżnionej klasy systemów transportowych obejmującej infrastrukturę sieci sztywnotorowych<sup>5</sup> jak i sposobie oceny<sup>6</sup> systemów należących do tej klasy.

Realizacje znacznej części systemów sieci sztywnotorowych są jednostkowe ze względu na konieczność uwzględnienia warunków i wymagań lokalnych. Niepowtarzalność sieci sztywnotorowych sprawia, iż nie można wnioskować o charakterystyce tej klasy systemów na podstawie bezpośredniej addycji cech jej reprezentantów jak w przypadku populacji jednorodnych rozwiązań.

Specyfika sieci sztywnotorowej powoduje przy tym trudności w kluczowych sytuacjach decyzyjnych:

- ocenie przyjętego rozwiązania układu torowego sieci,
- ocenie organizacji eksploatacji systemu,
- harmonogramowania prac związanych z utrzymaniem sieci.

Cechy sieci, takie jak układ węzłów i odcinków międzywęzłowych, ich liczba i wymiary, stanowiące ogólnie określaną topologię realizowane są jednorodnymi składnikami (odcinek prosty, łuk, skrzyżowanie, rozjazd).

Jeśli dodane zostanie założenie o ograniczonej powierzchni oraz jednolitym poziomie obsługi transportowej to otrzymana grupa systemów wykazywać będzie intensywne własności sieci sztywnotorowych, co w sieciach  $2r$  prowadzi do połączenia węzłów w formę elementarnych figur geometrycznych np. kwadrat, prostokąt, trójkąt.

Zastosowana liczba elementów składowych oraz ich przestrzenna konfiguracja jest uzależniona od warunków lokalnych i potrzeb.

Ocena opisywanych sieci transportowych jest możliwa dopiero poprzez ich dekompozycję zgodnie z opisanymi kryteriami. Sprawne podejmowanie decyzji eksploatacyjnych dotyczących utrzymania sieci nie jest możliwe w świetle przytoczonych faktów bez opracowania modelu ich oceny.

Przeprowadzone badania literaturowe wykazały, iż nie powstał wcześniej model prezentowanego obiektu badań, który byłby adekwatny do rzeczywistości i pozwalał na po-

<sup>5</sup> Charakterystyka oraz modelowanie sieci sztywnotorowych opisane są w rozdziale trzecim.

<sup>6</sup> Metodologia oceny sieci sztywnotorowej zawarta jest w rozdziale czwartym.

dejmowanie decyzji o wyłączaniu elementów sieci sztywnotorowej w ramach prowadzenia jej eksploatacji, które jest jednym z głównych wyróżników zdefiniowanej klasy systemów.

Decyzje te dotyczą zarówno planowanych remontów jak i wyłączeń odcinków spowodowanych wystąpieniem nieporządkanych zdarzeń losowych takich jak np. utrata drożności odcinka z powodu wypadku środka transportowego.

Nieadekwatność istniejących modeli czy reprezentowanych podejść do problemu opiera się głównie na fragmentarycznym opisie systemu. Spotkać można modele eksploatacyjne bez wyraźnie ujętego kryterium ekonomicznego oraz niespójne próby ich łączenia.

W wyniku badań literaturowych najbardziej odpowiednim podejściem do oceny prezentowanego zagadnienia w trakcie procesu podejmowania decyzji eksploatacyjnych oraz wyróżnienia i zdefiniowania odrębnej klasy systemów technicznych okazało się zastosowanie kryterium efektywności. Różnice pomiędzy ekonomiczną teorią efektywności a jej technicznym ujęciem wymagają wyraźnego zdefiniowania efektywności opisywanej w pracy.

**Celem pracy jest opracowanie modelu oceny efektywności eksploatacji sieci sztywnotorowych ze względu na wyłączenia odcinków międzywęzłowych, będących konsekwencją planowanych remontów lub zdarzeń incydentalnych oraz ocena zakłóceń towarzyszących wyłączeniom odcinka linii i skutków jakie wywołują.**

O podjęciu pracy nad opracowaniem modelu oceny efektywności eksploatacji sieci sztywnotorowej zdecydowały dwie główne przesłanki:

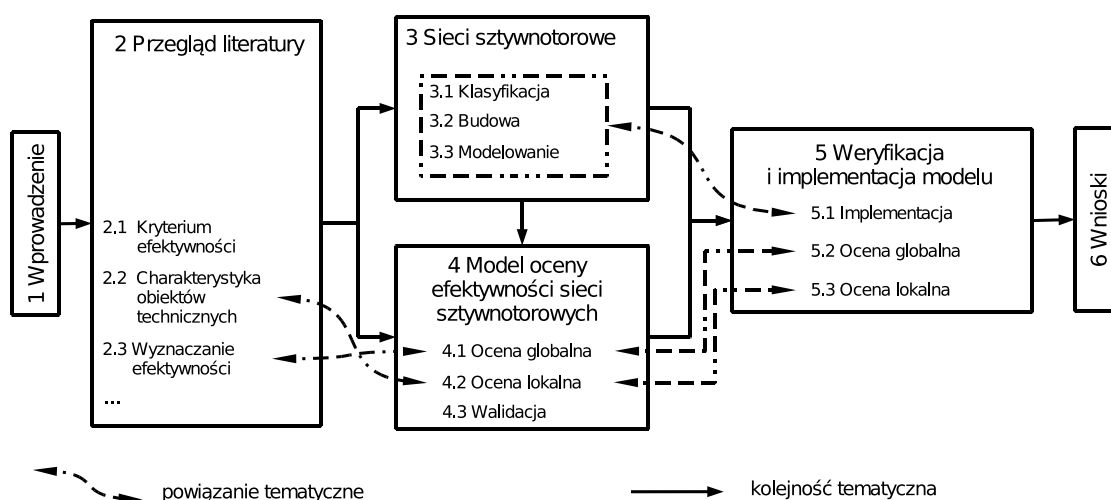
- teoretyczna - brak jest w literaturze modelu, który w sposób zadowalający i adekwatny do rzeczywistości prezentowałby przedstawione zagadnienie, uniwersalnego dla całej wyróżnionej grupy systemów transportu sztywnotorowego,
- praktyczna - prezentowane zagadnienie występuje bardzo często zarówno w skali transportu bliskiego i magazynowania jak i transportu dalekiego, w szczególności w przypadku komunikacji miejskiej,

które wskazują na potrzebę prowadzenia prac nad prezentowanymi zagadnieniami.

Biorąc pod uwagę przytoczone argumenty uzasadniające potrzebę prowadzenia prac w zdefiniowanym obszarze badań, własności charakterystyczne sieci sztywnotorowych oraz przeprowadzone badania literaturowe wnioskować można o następujących głównych obszarach zastosowania modelu:

- porównanie dwóch systemów sieci sztywnotorowej ze względu na efektywność ich eksploatacji,
- ocena oraz harmonogramowanie prac związanych z wyłączeniami odcinków międzywęzłowych sieci.





Rysunek 2.4. Przebieg pracy

## 2.5. Układ i zawartość pracy

„Niezbędną jest metoda do badania rzeczy”

*IV Reguła do Kierowania Umysłem*

Kartezjusz [1596 – 1650]

Prezentowana praca doktorska przedstawia nowe, względem rozpoznanej literatury, podejście w rozpatrywaniu sieci transportowych, ich modelowania i oceny.

Z uwagi na jednoczesne wprowadzenie nowej klasy systemów oraz metody ich oceny, dla jasności wywodu praca nie zachowuje sekwencyjnej kolejności treści (rys. 2.4).

Opisywane w pracy badania i ich wyniki nie stanowią bezpośredniej kontynuacji lub rozwinięcia dotychczas opublikowanych prac. Ma to swoje konsekwencje w prezentowanym przeglądzie literatury, który rozpoczyna uporządkowanie terminologiczne obszaru stanowiącego podstawę prezentowanego modelu.

Przyjęta podwójna definicja efektywności determinuje dualny opisowo-normatywny charakter tworzonego modelu.

Przedstawiony w rozdziale 2.2 opis charakterystyk obiektów technicznych systemów transportowych stanowi punkt wyjścia dla lokalnej oceny efektywności (nawiązującej do definicji normatywnej) opisanej w rozdziale 4.2 (Lokalna ocena efektywności sieci sztywnotorowej).

Zaprezentowany w rozdziale 2.3 przegląd metod, procedur i modeli o istotnym stopniu podobieństwa lub pokrewieństwa do proponowanego w modelu podejścia oceny globalnej efektywności sieci sztywnotorowej (def. opisowa efektywności) stanowi wprowadzenie do rozdziału 4.1 (Globalna ocena efektywności sieci sztywnotorowej).

Ze względu na odmienność prezentowanego podejścia sięgnięto do prac historycznych cofając się chronologicznie do pierwszej połowy XX wieku.

Bazą prezentowanego w pracy podejścia jest zdefiniowanie w rozdziale trzecim klasy obiektów określonej jako sieci sztywnotorowe, poprzez opis wyróżnionych struktur infrastruktury transportowej i ich własności. Ponieważ klasa tych systemów zgodnie z przeprowadzonym rozpoznaniem literaturowym nie została wcześniej opisana to rozdział ten nie nawiązuje tematycznie do badań literaturowych zapewniając jedynie zgodność z dotychczas występującą terminologią. Ze względu na ograniczoną objętość pracy opis ten skupiony jest tylko na tych ich elementach i przykładach, które są istotne w dalszej części pracy.

Zdefiniowana klasa systemów oprócz odmienności strukturalnej opisanej w rozdziale trzecim wykazuje specyficzne własności w funkcjonowaniu. Rozdział czwarty opisuje te główne cechy systemów sztywnotorowych które są ich eksploatacyjnym wyróżnikiem. Proponuje się dualny opisowo-normatywny model oceny sieci sztywnotorowych wyrażony poprzez podejście globalne i lokalne do oceny zgodnie z przyjętą definicją efektywności eksploatacji. Rozdział ten kończy walidacja proponowanego modelu oceny.

Zdefiniowana klasa systemów sztywnotorowych oraz model ich oceny stanowią nierozłączną całość wzajemnie się uzupełniających oraz uzasadniających elementów. Z tego powodu podczas weryfikacji prezentowanego w pracy modelu sieci transportowych (klasy systemów jak i modelu oceny) przeprowadzonej w rozdziale piątym sięga się bezpośrednio zarówno do rozdziału trzeciego jak i czwartego.

Pracę kończą wnioski z przeprowadzonych badań.

Załączniki dołączone na końcu pracy zawierają zarówno materiały uzupełniające jak i takie które dotyczą całości pracy bez możliwości przyporządkowania pojedynczemu rozdziałowi.

### 3. Sieci sztywnotorowe

Infrastruktura sztywnotorowa oznacza drogi, punkty transportowe (przystanki, dworce itp.) oraz urządzenia pomocnicze bezpośrednio służące do obsługi dróg i portów [92] *transportu realizowanego po szynach* [88]. Ogólnie termin *transport sztywnotorowy* oznacza, iż pojazdy mogą poruszać się tylko charakterystycznym dla danej technologii torem. W pracy znaczenie tego terminu jest poszerzone.

Przyjmuje się, że pojazd prowadzony jest przez infrastrukturę po stałym, ustalonym torze. Nie może on wyprzedzić pojazdu, który porusza się przed nim po tym samym torze bez zmiany tego toru jazdy (musi wykorzystać objazd). Nie może on opuścić w sposób nie planowany raz obranego toru jazdy, z wyjątkiem objazdów, bez zastosowania dodatkowych środków technicznych, które nie wspomagają jego planowej jazdy (żurawie, tymczasowe rozjazdy montowane na czas realizacji objazdu). Zmiana toru ruchu (zjazd z planowej linii) jest w sieciach sztywnotorowych zawsze wymuszona. Powodem zjazdu z planowej linii może być organizacyjne lub techniczne zablokowanie odcinka sieci (zmiana organizacji ruchu na drodze, awaria pojazdu, wypadek), awaria odcinka infrastruktury (nagłe uszkodzenie) lub planowe wyłączenie dla przeprowadzenia czynności konserwacyjnych lub naprawczych (planowa wymiana, szlifowanie).

Klasyfikację tak zdefiniowanego pojęcia przeprowadzono w oparciu o kryterium ilości dróg jakie można obrać w punkcie węzłowym (przecięcia dwóch lub więcej stałych torów ruchu - dalej zwanych liniami).

W sieciach sztywnotorowych wyróżnić można punkty węzłowe, które są przecięciem różnych linii lecz nie umożliwiają zmiany toru ruchu (skrzyżowanie) oraz punkty węzłowe które taką zmianę umożliwiają (rozjazd). Ponieważ punkt węzłowy dopuszczający zmianę toru ruchu jest rozjazdem, podział ten zgodny jest z typem zastosowanych rozjazdów.

Na infrastrukturę sztywnotorową składają się cztery podstawowe elementy: odcinek prosty, łuk, skrzyżowanie, rozjazd.

Zakłada się, że pojazd posiada własny napęd. Infrastruktura zapewnia zachowanie ścieżki ruchu oraz może dostarczać energię potrzebną do zasilania pojazdu.

W terminologii polskiej spotkać można określenia *sztywnotorowy środek transportu* oraz *odcinek sztywnotorowy* używane w opisie *autobusu torowego* (który porusza się „sztywnym” torem przy zastosowaniu prowadnic i kół prowadzących zamocowanych w pojeździe). Przyjęta w pracy semantyka wprowadzanych terminów jest zgodna z ich dotychczasowym, używanym znaczeniem.

### 3.1. Klasyfikacja sieci $kr$

Przyjmując za kryterium klasyfikacji rodzaj zastosowanych podstawowych elementów oraz typ zastosowanego rozjazdu sieci sztywnotorowe podzielić można na cztery podstawowe grupy ( $0r$ ,  $1r$ ,  $2r$ ,  $kr$  gdzie  $k > 2$ ). Dwie pierwsze grupy nie posiadają rozjazdów różniąc się kształtem toru ruchu. Pozostałe różnią się ilością dróg możliwych do wyboru w punkcie węzłowym.

#### 3.1.1. Sieci $0r$

Podstawowym rodzajem sieci sztywnotorowych są takie, gdzie linie poprowadzone są wzdłuż prostej. Nie występują punkty węzłowe w którym można zmienić tor ruchu. Dopuszcza się krzyżowanie różnych linii w jednym węźle, lecz zastosowane urządzenia muszą wykluczać zmianę toru ruchu.

Wśród sieci wyróżnić można trzy podstawowe rodzaje.

1. linie obsługujące pojedynczy korytarz transportowy,
2. linie równomiernie obsługujące obszar,
3. sieć o nierównomiernej obsłudze obszaru, w ramach jej zadań transportowych.

**Linia obsługująca pojedynczy korytarz** transportowy dopuszcza zmianę kierunku ruchu. Jest najprostszym przypadkiem infrastruktury sztywnotorowej. Z reguły jeden lub obydwu końce korytarza są punktami nadania/odbioru towarów.

Przykładem tak zaprojektowanego układu jest pojedyncza układnica obsługująca jeden prostoliniowy korytarz w magazynie.

Brak możliwości przeprowadzenia objazdu powoduje, iż awaria środka transportu blokuje całą linię, odcinając dostęp do obszaru za uszkodzonym urządzeniem.

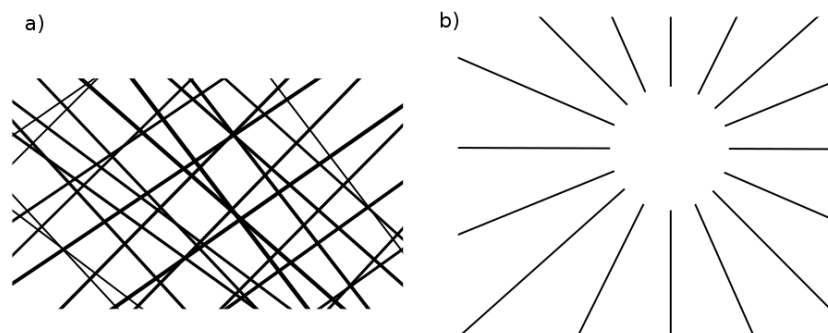
Wprowadzenie planowo dwóch urządzeń na tym samym torze na obydwu końcach linii prowadzi do powstawania sytuacji kolizyjnych. Unikanie ich obniża wydajność rozwiązania, zaś w przypadku zablokowania pojazdu na trasie rozwiązanie to nie chroni przed utratą dostępu do tej części obszaru który znajduje się za nim.

**Dwie linie obsługujące pojedynczy korytarz** transportowy poprowadzone równolegle względem siebie w przypadku, gdy z każdego toru dostępne mają być obydwie strony korytarza nie eliminują sytuacji kolizyjnych w trakcie pobierania/odkładania ładunku.

Jeśli dostępna dla urządzenia transportowego ma być jedna strona korytarza to awaria środka transportu powoduje niedostępność tej części obsługiwanego obszaru.

Biorąc pod uwagę złożoność oraz ekonomiczność tego rozwiązania, jego zastosowanie jest mało prawdopodobne w praktyce.

Jeśli ilość miejsca w korytarzu transportowym umożliwia załadunek i wyładunek po zewnętrznej stronie torów i nie wymaga sięgania przez sąsiadujący tor to pod warunkiem



Rysunek 3.1. Sieci  $0r$  o nierównomiernym poziomie obsługi obszaru, a) fluktuacje dystrybuowane równomiernie w sieci, b) koncentracja poziomu obsługi

ekonomicznej zasadności jest to rozwiązania korzystne.

Przykładem takiego układu może być prostoliniowa linia tramwajowa z dwoma torami.

**Linie równomiernie obsługujące obszar** są w przypadku prostoliniowych ścieżek ruchu znacznie ograniczone i wyróżnić można tylko trzy rodzaje możliwych układów torów.

Układ torów równoległych jest bezkolizyjny. Spotykany m.in. w magazynach wysokiego składowania pomiędzy regałami, gdzie występuje jedna linia w korytarzu.

Układ z torami podwójnymi w korytarzu praktycznie nie występuje. Trudno bowiem uzasadnić ekonomicznie takie rozwiązanie.

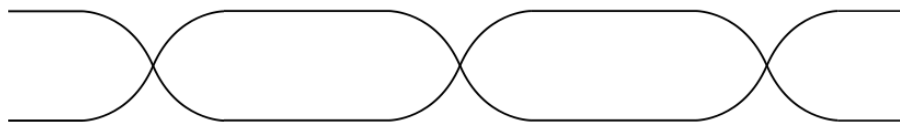
Układ prostoliniowych torów prostopadłych pozwala na równomierną obsługę obszaru podzielonego na sektory. Dostęp do każdego sektora jest z każdej strony.

Jest to układ kolizyjny, wymagający synchronizacji ruchu. W węzłach stosuje się krzyżownice.

Układ prostoliniowych torów przecinających się pod kątem innym niż prosty jest uniwersalnym przypadkiem wariantu wcześniejszego.

**Sieci o nierównomiernej obsłudze obszaru** pozwalają na regulowanie stopnia obsługi poszczególnych sektorów. Dają możliwość wyznaczenia sektorów o większym lub mniejszym stopniu zagęszczenia dróg niż średnia dla jednostki obszaru sieci.

Wśród sieci tych rozróżnić można takie, w których fluktuacje zagęszczenia obsługi propagowane są równomiernie w całej sieci (rys 3.1a) oraz takie w których występuje koncentracja jakości obsługi na danym obszarze (rys. 3.1b).



Rysunek 3.2. Dwie linie  $1r$  naprzemiennie obsługujące pojedynczy korytarz transportowy

### 3.1.2. Sieci $1r$

Sieci  $1r$  to sieci składające się z prostych i łuków. Sieci  $0r$  są szczególnym przypadkiem sieci  $1r$  stanowiąc ich podzbiór.

Sieci  $1r$  występują w tych samych odmianach co sieci  $0r$  wykazując analogiczne wady i zalety.

**Linia obsługująca pojedynczy korytarz** transportowy dopuszcza zmianę kierunku ruchu. Jej charakterystyka nie różni się od linii  $0r$ .

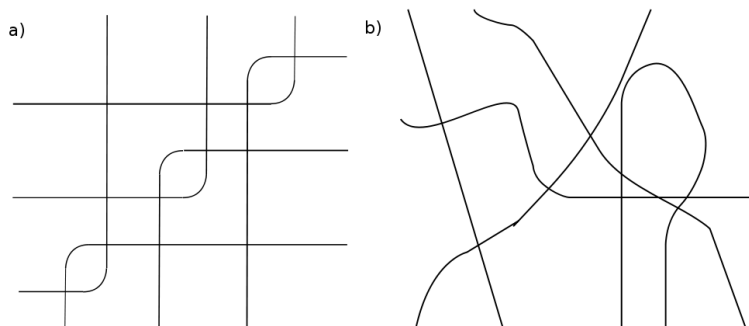
**Dwie linie obsługujące pojedynczy korytarz** wprowadzają możliwość naprzemiennej obsługi stron korytarza. Jest to rozwiązanie korzystne w przypadku części obsługiwanych systemów. Spełnionych musi być jednak wiele warunków aby można było je zaimplementować. Szerokość korytarza musi być wystarczająco duża, przerwy w obsłudze w okolicach krzyżowania się torów muszą być akceptowalne, organizacja ruchu musi dopuszczać takie rozwiązanie. Występujące miejsca kolizyjne wymagają koordynacji ruchu (rys. 3.2).

**Linie obsługujące obszar** w przypadku sieci  $1r$  wykazują większą elastyczność. Brak rozjazdów oraz występująca kolizyjność sprawiają znaczne trudności w implementacji takiego rozwiązania. Pozwalają jednak na wyrównanie długości poszczególnych linii w sieci oraz dostosowanie lokalizacji miejsc końców toru do potrzeb (rys. 3.3). Szczególnym utrudnieniem jest brak możliwości ułożenia dwóch torów w jednej linii, gdy tory te mają na pewnym odcinku zachodzić na siebie (rys. 3.3a).

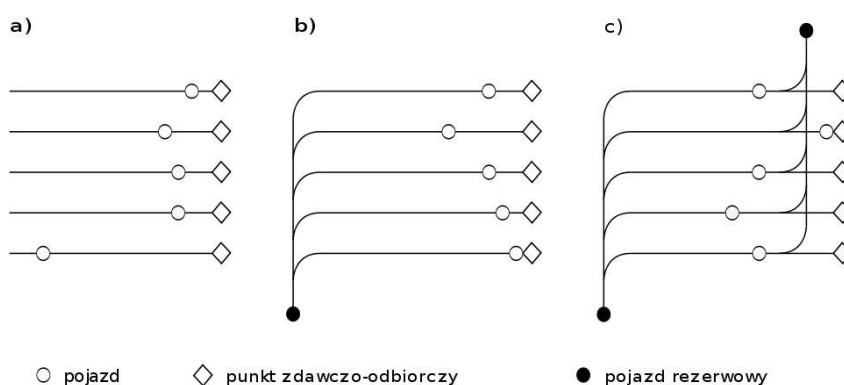
### 3.1.3. Sieci $2r$

Sieci  $2r$  zawierają w sobie sieci  $0r$  i  $1r$ , które stanowią ich przypadki szczególne. Zastosowanie węzłów z możliwością zmiany toru ruchu daje możliwość tworzenia objazdów.

W przypadkach gdzie lokalnie są zgodne z sieciami  $0r$  i  $1r$  przejmują ich własności. Rozróżnić można dwie podstawowe podgrupy: sieci o pojedynczych oraz wielokrotnych torach dla danej trasy. Te z kolei dzielą się na sieci o ograniczonym obszarze oraz bez ograniczeń obszarowych oraz na regularne i nieregularne.



Rysunek 3.3. Przykłady sieci  $1r$ , a) układ regularny, b) układ nieregularny

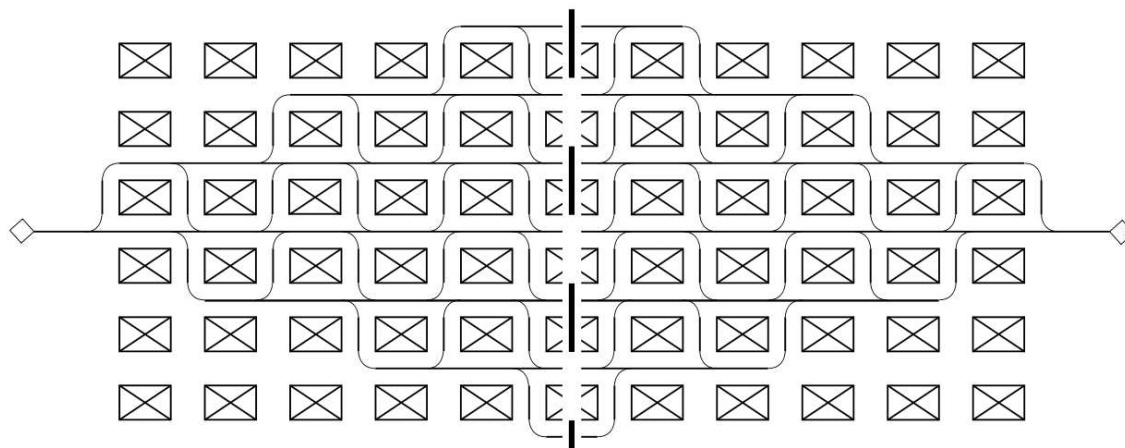


Rysunek 3.4. Zwiększanie niezawodności i elastyczności sieci sztywnotorowych: a) równoległe korytarze transportowe z pojedynczymi torami (sieć  $0r$ ), b) dodanie pojazdu rezerwowego wraz ze zwiększeniem odporności na awarie (sieć  $2r$ , odcięcie części korytarzy w przypadku wystąpienia pojedynczej awarii), c) podwójna rezerwa (sieć  $2r$ , maksymalna możliwa odporność na awarię jednego środka transportu lub punktowej awarii infrastruktury)

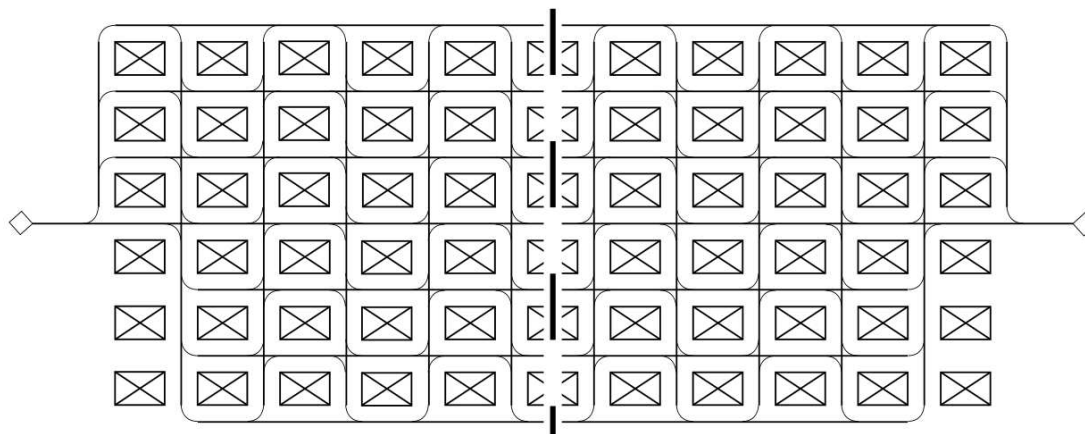
Rozpatrzmy omówiony wcześniej przypadek sieci  $0r$  równoległych korytarzy z pojedynczymi torami (rys. 3.4a). Przejście do sieci  $2r$  dodając rozjazdy i dodatkowy pojazd rezerwowo sprawia, iż w przypadku wyłączenia fragmentu toru korytarza pozostała jego część jest nadal dostępna (rys. 3.4b). Dodając drugi pojazd rezerwowo ograniczyć można nawet skutki zablokowania pojazdu pierwotnie obsługującego korytarz na trasie (rys. 3.4c). Opisane sytuacje są najprostszymi charakterystycznymi dla sieci  $2r$  przypadkami w których występują zagrożenia odcięcia, wyłączenia fragmentu i rezerwy toru.

Własności sieci  $2r$  najbardziej widoczne są w przypadku pojedynczych torów w korytarzach na ograniczonym obszarze.

Ograniczona powierzchnia przeznaczona na węzły sieci transportowej wyklucza możliwość wielokrotnego zastosowania rozjazdu aby osiągalne były trzy lub więcej alternatyw-



Rysunek 3.5. Scenariusze objazdów dla pojedynczego korytarza w polu o ograniczonym obszarze bez możliwości krzyżowania torów (pojedynczy korytarz sieci z rysunku 3.7)



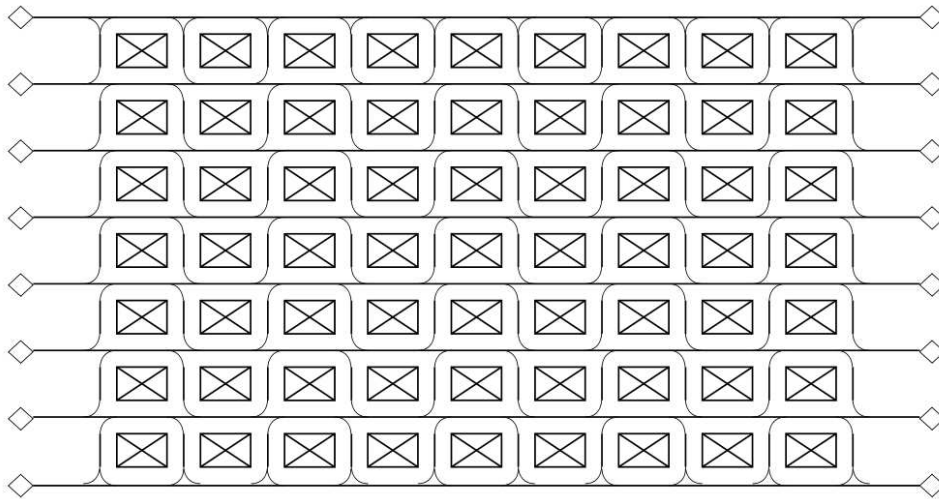
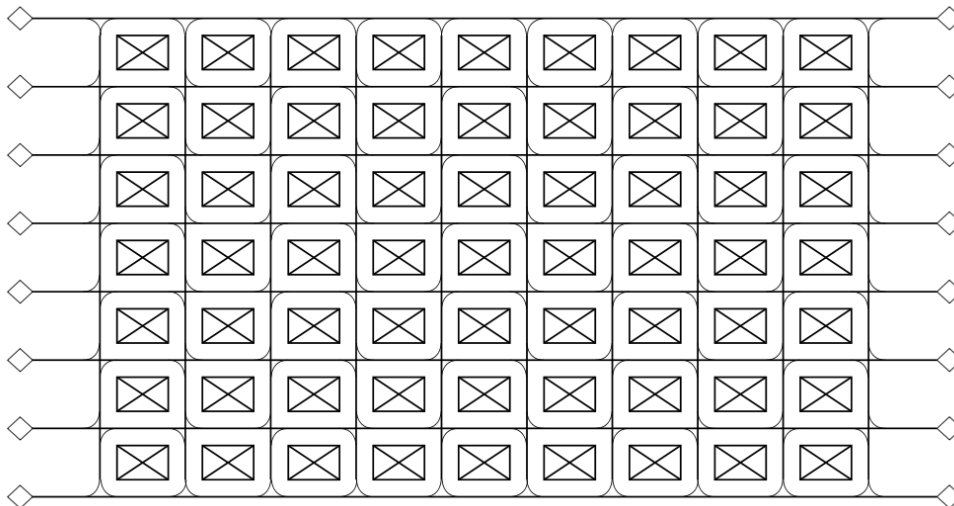
Rysunek 3.6. Scenariusze objazdów dla pojedynczego korytarza w polu o ograniczonym obszarze z możliwością krzyżowania torów (pojedynczy korytarz sieci z rysunku 3.8)

ne tory. Własność ta jest przyczyną ograniczenia swobody wyboru objazdu i niedostępności pewnej części obszaru, którego rozmiar zależy od kształtu całego obsługiwanego pola (rys. 3.5). Ograniczenie to stanowi główny warunek organizacji objazdów. Liczba potencjalnych rozwiązań objazdów jest bardzo duża (w zależności od liczby rzędów obsługiwanych korytarzy) lecz skończona, gdyż sama struktura zapobiega powstawaniu zamkniętych pętli (cykli) po których może się poruszać pojazd.

Dopuszczenie możliwości krzyżowania się torów znacznie ogranicza niedostępne pole obszaru powodując większą równomierność ilości możliwych objazdów w zależności od miejsca na trasie gdzie wystąpiło wyłączenie toru (rys. 3.6). Rozwiązanie to nie zwiększa wielkości pola przeznaczonego na węzeł.

Jeżeli istotne jest zachowanie równomiernego poziomu obsługi na obszarze to dostępny



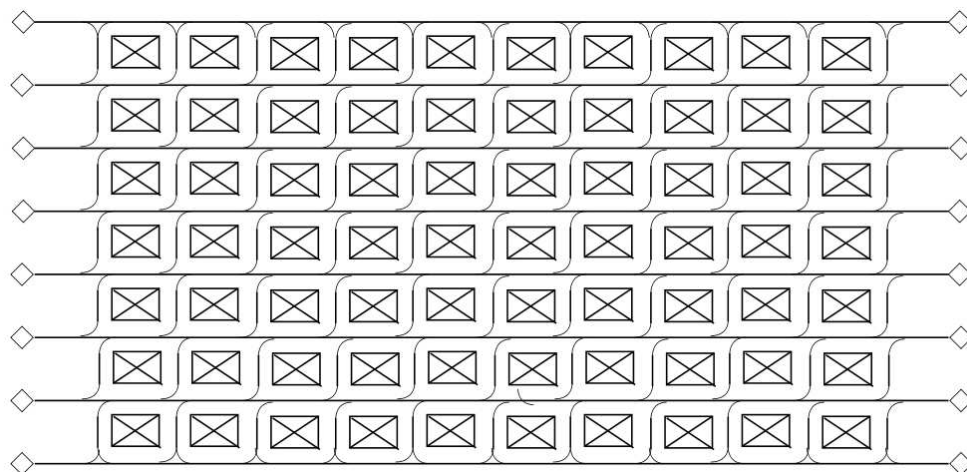
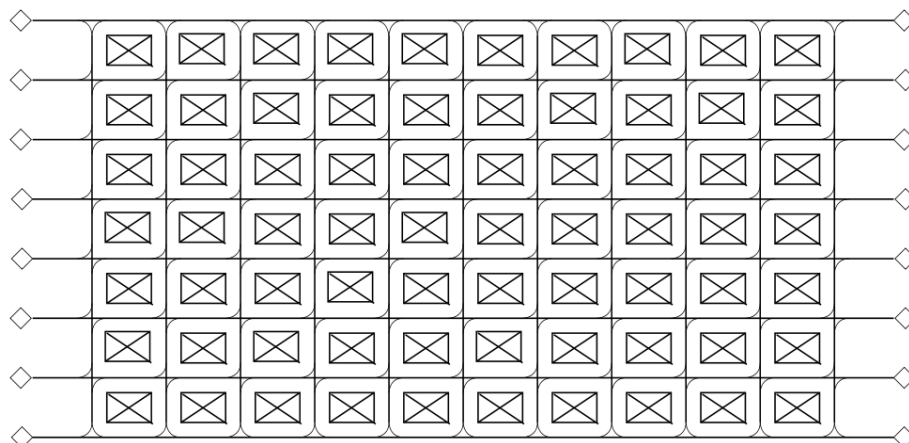
Rysunek 3.7. Typ A sieci  $2r$  bez krzyżowania torówRysunek 3.8. Typ A sieci  $2r$  z krzyżowaniem torów

jest ograniczony zbiór podstawowych struktur regularnych. Z układów podstawowych można zaś wyprowadzić inne, pochodne co zostanie pokazane na przykładzie.

Pierwszym omawianym przypadkiem jest typ A sieci  $2r$  (rys. 3.7). Układ ten tak jak pozostałe zbudowany jest przez powtórzenie podstawowego elementu. Wyjątek stanowią korytarze brzegowe. Struktura taka sprzyja ułożeniu torów ruchu (korytarzy) w poziome linie. Największa elastyczność w budowaniu objazdów występuje przy wyłączeniach odcinka toru w połowie długości korytarza.

Dopuszczenie możliwości krzyżowania torów wyrównuje ilość możliwych objazdów wyłączenia niezależnie od jego położenia na trasie planowej (rys. 3.8).

Typ A jest najbardziej typowym przykładem układu z objazdami. W korytarzach brzegowych środki transportowe nie są w pełni wykorzystane. Występuje możliwość wyko-

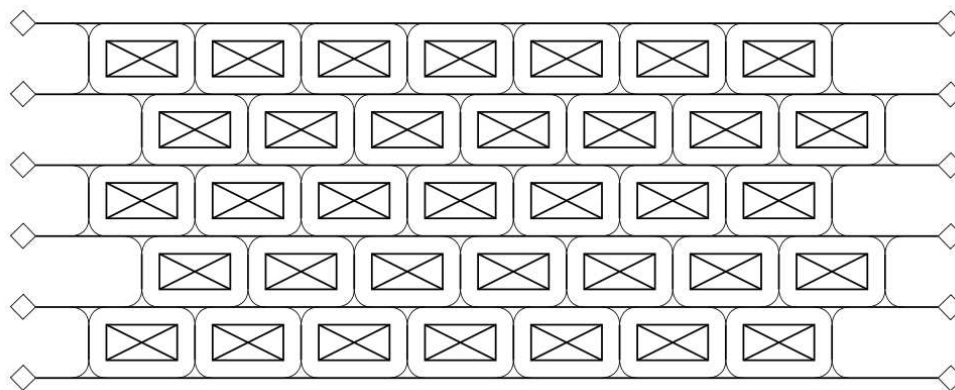
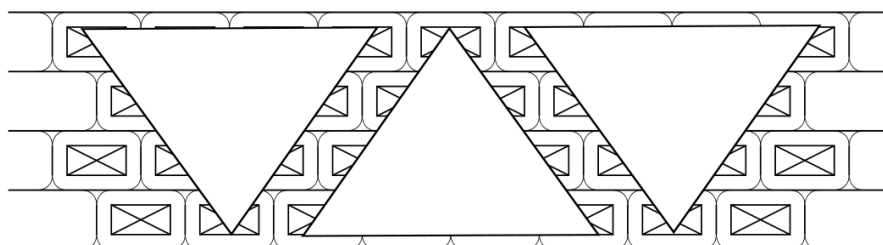
Rysunek 3.9. Typ B sieci  $2r$  bez krzyżowania torówRysunek 3.10. Typ B sieci  $2r$  z krzyżowaniem torów

rzystania tych korytarzy jako technicznych dla pojazdów rezerwowych utrzymywanych na tej linii.

Typ B sieci  $2r$  poza korytarzami brzegowymi nie pozwala na powrót na tą samą linię poziomą (rys. 3.9). Z tego powodu bardziej sprzyja ułożeniu korytarzy transportowych w kierunku skośnym. Bardziej sprzyja tworzeniu linii alternatywnych niż objazdów.

Dopuszczenie możliwości krzyżowania torów zwiększa dostępność wszystkich obszarów pola z poszczególnych punktów brzegowych na bocznych krańcach (lewym i prawym na rys. 3.10).

Korytarze brzegowe w układach typu B umożliwiają nawrócenie środka transportu wokół brzegowych górnych i dolnych pól. Sprawia to korzystne warunki dla tworzenia linii których początek i koniec jest w tym samym miejscu oraz podwojeniu liczby środ-

Rysunek 3.11. Typ C sieci  $2r$ 

Rysunek 3.12. Wyprowadzenie sieci o polach trójkątnych z typu sieci C

ków transportu tworząc niezależne czoła załadunku/rozładunku po lewej i prawej stronie obsługiwanego pola (rys. 3.9 i 3.10).

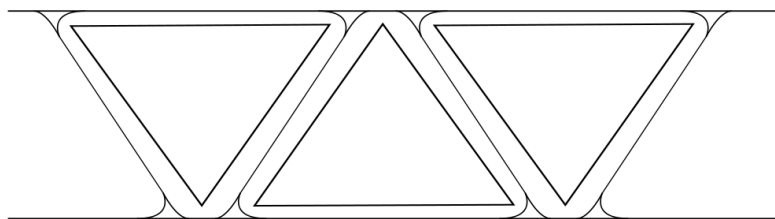
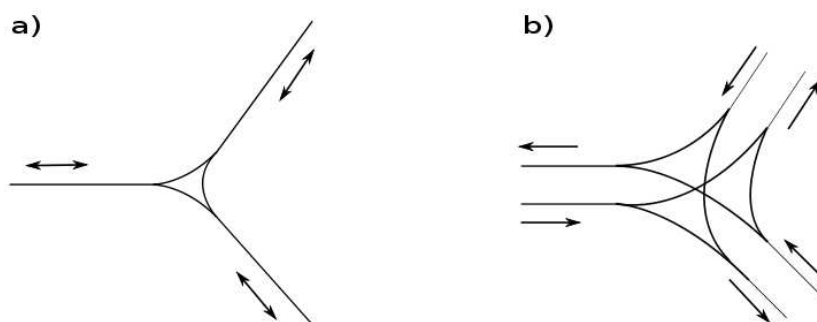
Typ C sieci  $2r$  jest pochodny typowi A. Powstaje przez przesunięcie korytarzy poziomych o połowę długości pojedynczego pola względem siebie (rys. 3.11). Jest to najbardziej elastyczny układ torów. Występują w nim pętle wokół obsługiwanego pola umożliwiające nawrót z dowolnego węzła. Pętle te powodują, iż można wyznaczyć nieskończenie wiele różnych dróg. Możliwe jest zarówno rozdzielenie końców toru na krańcach lewym i prawym (jak w typie A) jak i podział pionowy z podwojeniem środków transportu jak w przypadku typu B.

Typ C jest najbardziej złożonym układem z punktu widzenia występujących punktów kolizyjnych w sieci.

Wymienione pięć typów struktur sieci zamyka wszystkie podstawowe jej konstrukcje w przypadku ograniczenia obszarowego przy założeniu równomiernego stopnia obsługi.

Oprócz typów podstawowych występują jeszcze typy pochodne. To jak można je wyprowadzić z typów podstawowych pokazane będzie na sieci o polach trójkątnych. Metody oparte na trójkątach występują w organizacji rozmieszczenia produkcji. Przedstawiana struktura oparta na polach trójkątnych może być do nich zaadoptowana.

Do wyprowadzenia sieci trójkątnej wykorzystany zostanie typ C sieci  $2r$  o ograniczo-

Rysunek 3.13. Sieć  $2r$  o polach trójkątnych

Rysunek 3.14. Węzeł potrójny: a) tory pojedyncze, b) tory podwójne, osobne dla każdego kierunku ruchu

nym obszarze. Na układzie tym należy zasłonić poszczególne pola w sposób pokazany na rysunku 3.12. Drogi zamknięte ulegają zlikwidowaniu. Drogi pomiędzy oczekiwanymi polami należy uprościć. Wynik pokazany został na rysunku 3.13.

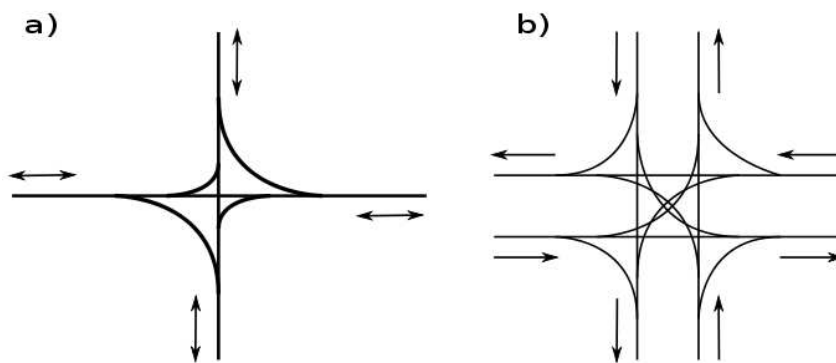
Sieci  $2r$  posiadają mogą skomplikowane węzły. Ograniczenie obszaru możliwego do zastosowania dla infrastruktury transportowej mocno determinuje te sieci. Należy wyróżnić tu przede wszystkim węzły w których łączą się tory pojedyncze oraz równoległe, wielokrotne (rys. 3.14 i 3.15).

Duże ograniczenie obszaru do wykorzystania na węzły pozwala praktycznie na zastosowanie tylko węzła potrójnego. Dodatkowo w przypadku sieci  $2r$  typu A i B część połączeń nie występuje. Przedstawiony na rysunku 3.14a węzeł jest stosowany w sieciach  $2r$  typu C.

Przestrzeń zajmowana przez węzeł determinowana jest przez ilość zwrotnic oraz promień skrzywienia pojazdu.

W przypadku torów wielokrotnych konieczne jest zastosowanie krzyżownic. Zachowanie odpowiednich kątów pomiędzy szynami jest dodatkowym czynnikiem wpływającym na wielkość zajmowanego miejsca przez węzeł (rys 3.14).

Węzeł poczwórny wymaga zastosowania dwóch zwrotnic następujących po sobie dla każdego toru (rys. 3.15). Ilość krzyżownic w węźle z torami wielokrotnymi powodować mo-



Rysunek 3.15. Węzeł poczwórny: a) tory pojedyncze, b) tory podwójne, osobne dla każdego kierunku ruchu

że znaczne trudności w prawidłowym rozmieszczeniu krzyżownic i zwrotnic. Ilość miejsca potrzebnego na węzeł poczwórny wyraźnie wzrasta.

Tak samo jak to pokazano na przykładzie węzłów potrójnego i poczwórnego można zbudować węzły o większej ilości dróg. Węzły te nie zostały opisane ponieważ metoda ich wyznaczenia jest analogiczna do pokazanych przykładów, przy zachowaniu tych samych własności.

Gdy na danym obszarze nie jest wymagany równomierny poziom obsługi lub nie występuje ograniczenie powierzchni możliwe jest zbudowanie sieci nieregularnej typu  $2r$ . W sieciach tych występować mogą pętle (cykle) co sprawia że ilość dróg w sieci jest nieograniczona. Przykład takiej sieci pokazuje mapa (1) (rys. F.15). Ze względu na wielkość sieci węzły zostały na niej uproszczone co omówione zostanie pod koniec tego rozdziału. Dokładna struktura sieci przedstawiona została w tabelach następstw odcinków dołączonych do mapy.

Sieci regularne i nieregularne zachowują te same własności lecz w przypadku tych drugich nie są one tak wyraźnie widoczne.

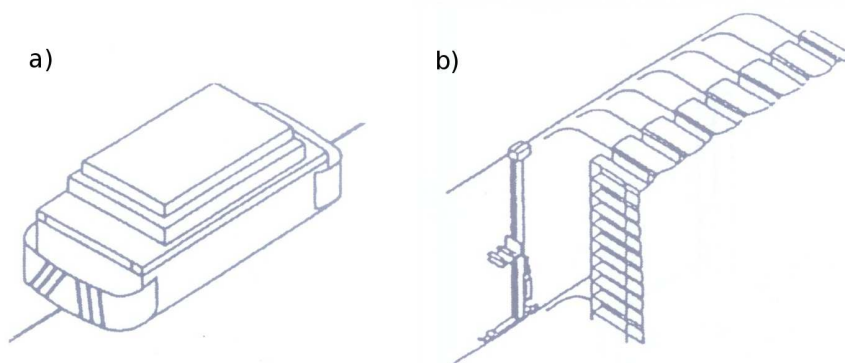
#### 3.1.4. Sieci $kr$ , ( $k > 2$ )

Sieci  $kr$  ( $k > 2$ ) to sieci gdzie w węźle można wybrać trzy lub więcej alternatywne drogi. Zwrotnice stosowane w tego typu sieciach są rzadko spotykane.

Zaletą tego rozwiązania jest zmniejszenie powierzchni jaką zajmuje węzeł sieci. Wadą jest zwiększenie złożoności technicznej, trudności w wykonaniu oraz ekonomiczność tego rozwiązania.

W sieciach tych występuje wysokie prawdopodobieństwo występowania pętli (cykli) przez co ilość możliwych dróg w sieci staje się nieograniczona.

Nie są dostępne dane dotyczące częstości występowania rozwiązań  $kr$  ( $k > 2$ ). Prze-



Rysunek 3.16. Przykłady systemów sieci sztywnotorowych: a) robot mobilny prowadzony po zadanej trasie z wykorzystaniem ścieżki indukcyjnej, b) układnica regałowa

Źródło: Korzeń Z., Logistyczne systemy transportu bliskiego i magazynowania, tom I, ILiM 1998

prowadzone rozeznanie wśród specjalistów zajmujących się zarówno transportem bliskim jak i dalekim wskazują jednak na to, iż występują one niezmiernie rzadko. Z tej przyczyny sieci te, ze względu na małe znaczenie, nie zostaną szczegółowo omówione.

### 3.2. Budowa sieci sztywnotorowych

Sieci sztywnotorowe stanowią liczną grupę obiektów technicznych. W podrozdziale tym zaprezentowane zostaną na przykładach ich cechy charakterystyczne.

W sieciach sztywnotorowych wyróżnić można kilka podstawowych elementów struktury:

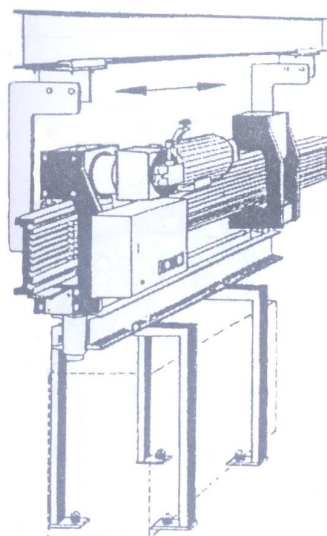
- odcinki proste,
- łuki,
- skrzyżowania,
- rozjazdy.

Elementy te decydują o charakterze sieci.

**Odcinki proste i łuki** są najczęstszymi i najprostszymi elementami sieci sztywnotorowej, do pokonania których warunkiem koniecznym i wystarczającym jest utrzymanie pojazdu na wyznaczonej ścieżce ruchu.

Najczęściej spotykanymi rozwiązaniami spełniającymi te kryteria są torowiska kolejowe i tramwajowe. Przykładami, które można spotkać w transporcie wewnętrznym są m.in.:

- wózki i inne pojazdy prowadzone po szynach,
- roboty mobilne drugiej generacji (rys. 3.16a),
- układnice regałowe (rys. 3.16b),
- transmotory (rys. 3.17).



Rysunek 3.17. Transmotor - rozwiązanie firmy TECHMATRANS, wózek podwieszony na szynie dwuteowej

Źródło: Korzeń Z., Logistyczne systemy transportu bliskiego i magazynowania, tom I, ILiM 1998

**Torowiska tramwajowe** konstrukcyjnie wywodzą się z torowisk kolejowych. Gdy torowisko tramwajowe jest wydzielone z jezdni oraz gdy występują przejazdy drogowe poprowadzone poprzecznie przez torowisko stosowane rozwiązania są identyczne jak te stosowane na kolei. Różnice występują w przypadku torowisk zabudowanych nie wydzielonych z jezdni. Niemożność wprowadzenia szyn na podkładach i podsypce spowodowała odejście od klasycznego kolejowego rusztu (szyn na poprzecznych podkładach), a rozwiązania zaczerpnięto z innych dziedzin budownictwa (np. mocowanie szyn suwnic). Do końca lat 80-tych w miastach polskich miejskie przedsiębiorstwa komunikacji, głównie przy pomocy własnych zakładów torowych wprowadzały wypracowane oraz sprawdzone przez siebie rozwiązania konstrukcyjne. Spowodowało to, iż każde miasto posiadało swoją własną preferowaną konstrukcję tramwajowego toru zabudowanego. W efekcie przeobrażeń organizacyjnych będących skutkiem przemian ustrojowych w latach 90-tych rozpowszechniło się wiele nowatorskich rozwiązań konstrukcyjnych torów zabudowanych, co w przypadku Wrocławia doprowadziło do eksploatacji 10 różnych rozwiązań.[58]

Tak wielka różnorodność rozwiązań oraz przewyższający postęp remontów proces dekapitalizacji torowisk przy jednoczesnym braku odpowiedniego zarządzania powodują znaczne utrudnienia dla ruchu w miastach. Sytuacja ta zwraca uwagę na znaczenie prawidłowego harmonogramowania oraz organizacji remontów i objazdów oraz uwzględnieniu ich w planach przy przebudowie sieci tramwajowej.

**Wózki i inne pojazdy prowadzone po szynach** w transporcie wewnętrznym są rozwiązaniem rzadziej spotykanym. Do sytuacji tych zaliczyć można przede wszystkim duże zakłady.

Kolej wąskotorowa spotykana była często w zakładach w wieku XX. Obecnie większość tych rozwiązań została wycofana z eksploatacji. Powstaje więc pytanie o zasadność odejścia od tego rozwiązania oraz kryteria stosowane przy modernizacji tych które pozostały.

Pojazdy prowadzone po szynach to oprócz wózków służących do transportu ładunków również inne urządzenia jak podnośniki gdzie układ torowy wykorzystywany jest do ich przemieszczania.

Grupa tych rozwiązań konstrukcyjnie zbliżona jest do torowisk tramwajowych i kolejowych omawianych wcześniej.

**Roboty mobilne drugiej generacji** czyli roboty mobilne o pozycjonowaniu zewnętrznym wykorzystują informacje zewnętrzne do ustalenia swojego położenia oraz reagują na zmiany w ich otoczeniu (np. pojawienie się przeszkody na drodze prowadzi do ich reakcji). Nie wszystkie układy budowane w tej grupie można zaliczyć do systemów sztywnotorowych. Systemy sztywnotorowe stanowią m.in. samodzielne automatyczne wózki wykorzystujące zewnętrzne elementy prowadzące do poruszania się po zadanej trasie w postaci ścieżki indukcyjnej.

Stosowane są głównie w logistyce produkcyjnej gdzie mają coraz większe znaczenie [91].

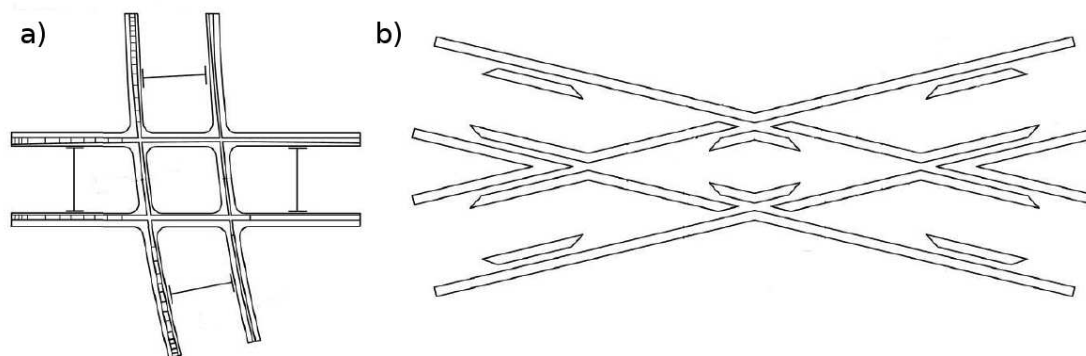
**Układnice regałowe** przemieszczają jednostki ładunkowe w strefie regałów magazynu. Biorąc pod uwagę kryterium konstrukcyjnego rozwiązania układu jazdy rozróżnia się pięć rodzajów układnic regałowych [50]:

1. jeżdżące w jednym korytarzu regałowym po prostoliniowej szynie górnej i z prowadzeniem dolnym,
2. jeżdżące w jednym korytarzu regałowym po dwóch prostoliniowych szynach górnych i bez prowadzenia dolnego, tzw. suwnice słupowe,
3. jeżdżące w jednym korytarzu regałowym po prostoliniowej szynie dolnej i z prowadzeniem górnym,
4. z możliwością równoległego przestawiania (za pośrednictwem przesuwicy) do różnych prostoliniowych korytarzy regałowych,
5. z możliwością jazdy po torach krzywoliniowych (rys. 3.16b)

Do grupy systemów sztywnotorowych zaliczyć można rodzaje: 1, 2, 3, 5. Grupa czwarta dopuszcza przemieszczanie za pomocą przesuwicy, co nie jest zgodne z ustalonym kryterium własnego napędu pojazdów w systemach sztywnotorowych. Na odcinku korytarza międzyregałowego jest to układ sztywnotorowy.

W środkach tych bardzo istotną rolę stanowi zespół zasilania. Możliwe jest zastosowanie zasilania prądowego układów napędowych z szyny prądowej, girlandowo podwieszonego kabla lub automatycznie nawijanego na szpulę zablokowaną z zespołem jezdny





Rysunek 3.18. Skrzyżowania torów z nieruchomymi krzyżownicami: a) z wykorzystaniem szyn rowkowych, b) z wykorzystaniem kierownic

Źródło: Oferta ThyssenKrupp GfT Gleistechnik, Blatt 321-02, 300-04, Ausgabe 12/04

układnicy kabla. Zespół zasilania prądowego determinuje w ten sposób również rodzaj implementowanej układnicy.

**Transmotory** [50] są zrobotyzowanymi środkami podwieszonego przewozu ładunków (rys. 3.17). Rozwiązanie to pozwala na wykonywanie bardzo złożonych tras przebiegu ładunków oraz automatyczne adresowanie do punktów przeznaczenia. Wózki transmotorowe zasilane są trolejowo przez szynę prądową i posiadają w pełni automatycznie sterowany napęd. Osiągają prędkości od 10 do 80 [m/min.]. Oprócz przemieszczania ładunków do wózka dołączyć można robot manipulacyjny do obsługi produkcyjnej lub transportowy do obsługi przeładowniczej co daje możliwość konfiguracji podsystemu operacyjno-transportowego o dużej elastyczności zastosowań.

**Skrzyżowania** występują tam gdzie przecinają się dwa tory bez możliwości ich zmiany. Są one punktami kolizyjnymi oraz stanowią węzły sieci sztywnotorowej.

Zasadniczo w grupie rozwiązań mechanicznych wyróżnić można dwa ich rodzaje: z krzyżownicą przytwierdzoną nieruchomo (rys. 3.18) oraz ruchomym elementem (rys. 3.19).

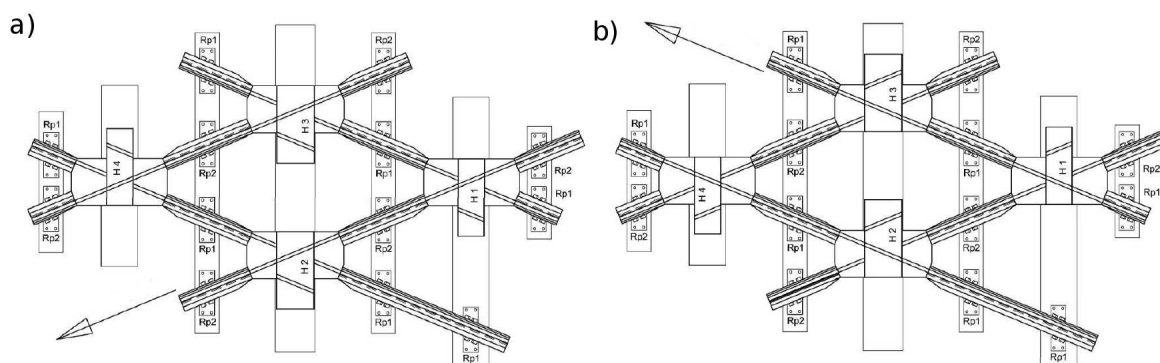
Skrzyżowanie z krzyżownicą przytwierdzoną nieruchomo stosowane jest przede wszystkim w przypadku gdy tory nie przecinają się pod zbyt dużym kątem.

Aby uniknąć wpadania w rowek szyny poprzecznej i wynikającego z tego uderzenia stosuje się spłylenie rowka w szynie rowkowej.

W skrzyżowaniach z szyną normalną stosuje się kierownice aby zapewnić utrzymanie pojazdu na torze.

W przypadku torów tramwajowych częściej spotykanym przypadkiem jest zastosowanie szyn rowkowych.

Skrzyżowania z ruchomymi elementami stosowane są częściej, gdy tory przecinają się pod dużym kątem.



Rysunek 3.19. Skrzyżowanie torów z elementami ruchomymi

Źródło: Oferta ThyssenKrupp GfT Gleistechnik, Blatt 322-02, Ausgabe 12/04

Wyróżnić można dwa podstawowe ich rodzaje. W pierwszym, na pewnym odcinku toru wymienia się element szyny na inny poprzez ich przesunięcie do pozycji, która zapewnia odpowiednie przemieszczanie się środka transportu (rys. 3.19). W drugim stosuje się rozwiązania analogiczne jak w przypadku rozjazdu krzyżowego z pominięciem elementów zwrotnicowych, co zapewnia brak możliwości zmiany toru.

Tam gdzie stosuje się podwieszane środki transportu tak jak w przypadku transmotorów wykorzystywane są rozwiązania konstrukcyjnie analogiczne to przedstawionego na rysunku 3.19. Element podstawiany w punkt przecięcia się torów jest odpowiedni dla aktualnie przemieszczającego się środka transportu.

**Rozjazdy** podzielić można na trzy podstawowe rodzaje:

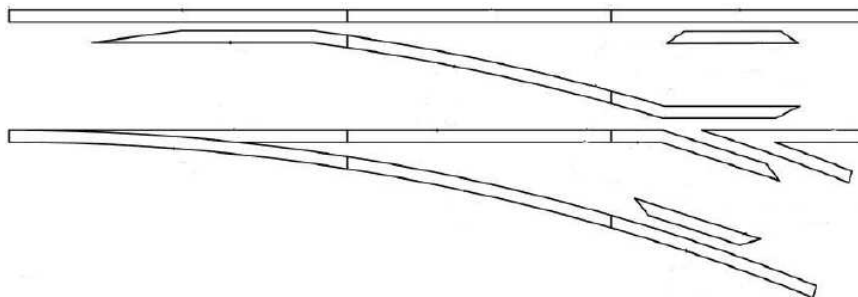
- zwyczajne, w których od toru zasadniczego odchodzą jeden (rys. 3.20) lub dwa tory zwrotne,
- krzyżowe, w których następuje jednocześnie przecięcie się dwóch torów (pojedyncze – gdy umożliwiają jazdę w 3 kierunkach, podwójne – gdy umożliwiają jazdę we wszystkich czterech kierunkach).

Wśród rozjazdów zwyczajnych rozróżnić można proste (położone w torze prostym; lewe lub prawe w zależności od kierunku toru zwrotnego) oraz łukowe (położone w łuku; jednostronne, dwustronne i symetryczne).

Rozjazdami jednostronnymi nazywa się takie, w których promień toru zwrotnego i zasadniczego mają ten sam zwrot.

Rozjazdy dwustronne mają promień torów zasadniczego i zwrotnego rozjazdu o przeciwnych zwrotach, a promień toru zwrotnego jest mniejszy.

Rozjazdami symetrycznymi nazywa się takie, w których promienie torów zasadniczego i zwrotnego rozjazdu mają tę samą wielkość i przeciwne zwroty.



Rysunek 3.20. Rozjazd zwyczajny, prosty

Źródło: Oferta ThyssenKrupp GfT Gleistechnik, Blatt 300-04, Ausgabe 12/04

Najczęściej spotykanym rodzajem rozjazdów są rozjazdy zwyczajne, zarówno w sieciach tramwajowych jak i systemach transportu wewnętrznego.

W przypadku szyn podwieszanych (transmotory) sposób rozwiązania rozjazdów nie różni się od stosowanego do skrzyżowań, z wyjątkiem rodzaju elementu podstawianego w punkcie węzłowym.

**Obrotnice** (urządzenie dokonujące zmianę kierunku jazdy pojazdu poprzez obrócenie platformy na której się on znajduje) również można zakwalifikować jako element składowy systemów sztywnotorowych, traktując je jako odpowiednik rozjazdu (o ile pełnią analogiczną funkcję).

### 3.3. Modelowanie sieci sztywnotorowych

Modelując sieć sztywnotorową pierwszym i podstawowym zadaniem jest identyfikacja oraz rozmieszczenie węzłów sieci.

Węzłami sieci mogą być:

- miejsca zmiany charakterystyki odcinka,
- skrzyżowania,
- rozjazdy.

Jeśli na pewnym odcinku dochodzi do zmiany jego parametrów w sposób istotny to dopuszczalne jest wydzielenie jego początku i końca za pomocą dwóch punktów węzłowych.

Do parametrów takich można zaliczyć:

- organizację ruchu powodującą zmianę toru jednokierunkowego na dwukierunkowy lub odwrotnie na pewnym odcinku,
- istotna zmiana technologii wykonania odcinka, która ma wpływ na odmienną obsługę eksploatacyjną.

Kryterium dla wyznaczeniach punktu węzłowego może być zatem zmiana własności lub właściwości obiektu technicznego rozumianych zgodnie z definicją O. Downarowicza [19]. Węzły umożliwiają również zdefiniowanie miejsc wprowadzania środków transportowych do sieci.

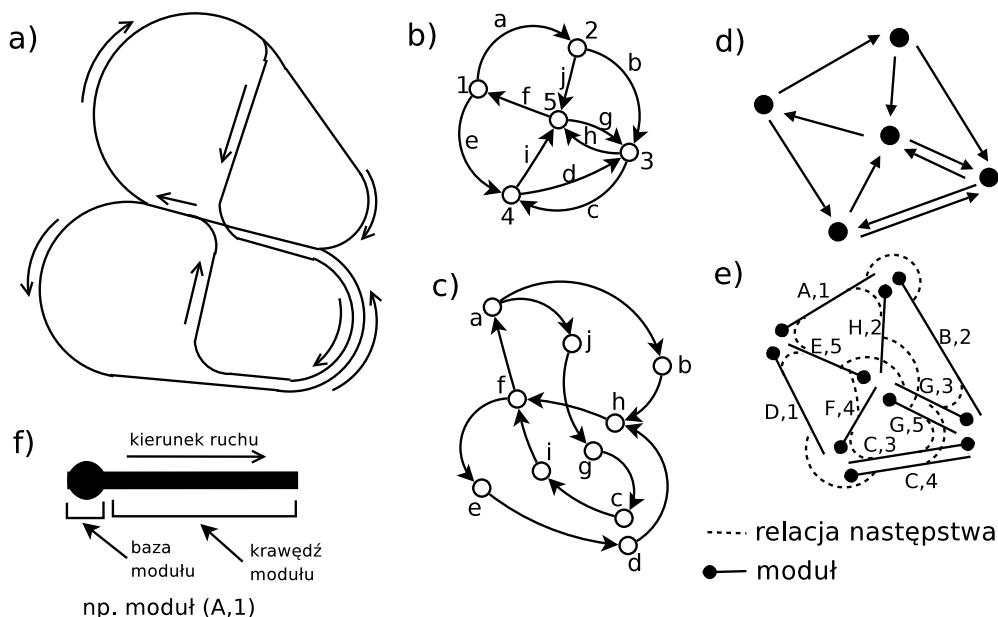
Wyznaczone punkty węzłowe sieci transportowej stanowią wierzchołki grafu. Łuki określone są przez ich wzajemne oddalenie mierzone odległością lub czasem potrzebnym do jego pokonania po ustalonych ścieżkach ruchu lub inną charakterystykę określoną przez kryteria użyte w analizie.

Interpretując ten graf zgodnie z teorią grafów i sieci [49] można opisać jego cechy:

1. Rozpatrywane grafy są grafami o wierzchołkach co najwyżej trzeciego stopnia a w przypadku szczególnym regularnych sieci  $kr$  mogą to być grafy  $n$ -regularne.
2. Są to grafy skierowane.
3. Aby możliwa była komunikacja pomiędzy wszystkimi węzłami graf musi być spójny a warunkiem koniecznym dla poprawnej sieci transportowej jest spójność jego grafu podstawowego.
4. Szukanie rozwiązania objazdu opiera się na algorytmie przeszukiwania ścieżek Eulera w grafie (dróg prostych). Dla poprawnej oceny konieczne jest zatem znalezienie wszystkich podgrafów co najmniej eulerowskich (dodatkowo skierowanych) w danej sieci. Możliwa jest ocena tylko tych grafów które posiadają pseudoeulorowskie podgrafy.
5. Szukanie rozwiązania objazdu jest szukaniem alternatywnych linii transportowych będących podgrafami hamiltonowskimi o tych samych końcach. Występowanie linii opartych na podgrafach pseudoeulorowskich nie będących grafami hamiltona prowadziło by do sytuacji w której na jednej linii do jednego węzła sieci nadjeżdżały i odjeżdżałyby środki transportowe z różnych kierunków (tzn. środek transportu konkretnej linii w węzle sieci nadjeżdża zawsze z jednego kierunku i podąża w drugim stałym kierunku).
6. W większości przypadków sieci linie obsługiwane są przez środki transportu poruszające się w jednym zdominowanym kierunku (dopuszcza się techniczną możliwość zmiany kierunku lecz jest to okoliczność incydentalna) oparte są na cyklach zamkniętych (tzn. pojazd „nie cofa”).

Przedstawienie sieci infrastruktury transportowej jako grafu niesie ze sobą szereg niedogodności interpretacyjnych i implementacyjnych. Grafy sieci transportowej posiadają duże rozmiary a ich budowa nie jest jednolita. Stosowanie notacji tradycyjnie stosowanej w grafach prowadziło w praktyce do wielu pomyłek i nadmiernego zapotrzebowania na zasoby obliczeniowe.

Reprezentacja grafu opisującego stan systemu dobrze sprawdzająca się w przypadku analizy środków komunikacji w rozpatrywanym przypadku infrastruktury prowadzi do nieuzasadnionego wzrostu złożoności interpretacyjnej i obliczeniowej zagadnienia. O ile bowiem w przypadku środków transportu głównym punktem analizy jest stan pojedyn-



Rysunek 3.21. Moduły w sieci sztywnotorowej: a) modelowany układ torowy, b) reprezentacja graficzna układu torowego jako graf, c) graf odwrócony układu torowego, gdzie odcinki między węzłowe oznaczone są jako wierzchołki grafu, obrazujący dozwolone przejścia, d) wyznaczenie węzłów sieci sztywnotorowej wraz z relacjami międzywęzłowymi, e) reprezentacja graficzna sieci sztywnotorowej w notacji modułowej, f) budowa modułu sieci sztywnotorowej

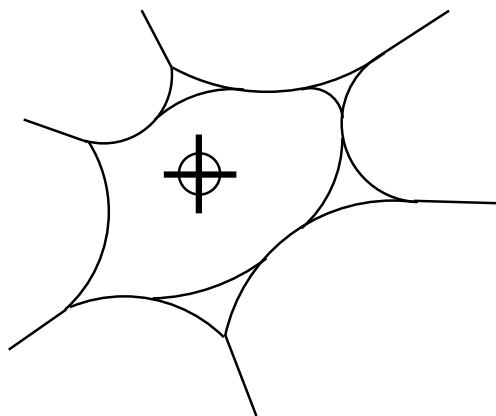
czego obiektu technicznego, od którego wtórnie wnioskuje się o danej jego populacji tak w przypadku infrastruktury technicznej w centrum zainteresowania jest stan sieci jako całości.

Dlatego w pracy wprowadzono uproszczenie zapisu grafu opisującego infrastrukturę sieci transportowej.

Elementem składowym sieci jest moduł opisany przez relację dwóch wierzchołków, tak jak ma to miejsce w opisie grafu. Relacja ta jednoznacznie identyfikuje dany odcinek sieci transportowej definiując krawędź modułu oraz bazę (rys. 3.21f) wraz z dowolną charakterystyką dodatkową. Pomiedzy modułami określone są dozwolone przejścia. Każdy moduł jest łukiem którego zwrot określa jego wierzchołek bazowy tzn. punkt węzłowy w którym bierze swój początek.

Lista modułów wraz z zestawem dozwolonych przejść są koniecznym i wystarczającym warunkiem jednoznacznego zdefiniowania topologii sieci sztywnotorowej.

Tak przedstawiony opis nie tylko upraszcza rozpatrywanie rozbudowanych grafów infrastruktury sieci sztywnotorowych ale również wprowadza ułatwienie dla algorytmów stosowanych do sprawdzania poprawności ich definicji.



Rysunek 3.22. Ustalanie położenia węzła sieci sztywnotorowej w węzle komunikacyjnym. Określenie punktu położenia węzła związane jest ze stopniem dekompozycji układu torowego, dokładnością pomiaru geometrii skrzyżowania, przyjętą metodą wyznaczania punktu węzła.

Każdy moduł opisany jest dowolną ilością charakterystyk uzupełniających zależną od kryteriów przyjętej analizy (np. odległość, liczba przystanków).

Występujące w praktyce komunikacji miejskiej rozbudowane węzły pod względem topologii lecz zajmujące relatywnie mały obszar (rys. 3.22) reprezentują często spotykane zagadnienia wyznaczania węzłów i upraszczania topologii sieci.

Tak jak w przypadku rozwiązywania rozbudowanych grafów, nakład związany z rozwiązaniem sieci sztywnotorowych jest pochodną rozmiarów tej sieci, a zależność ta jest mocno nieliniowa wzrastając nieproporcjonalnie względem występującej ilości modułów. Należy zatem wyznaczać jedynie węzły istotne z punktu widzenia przeprowadzanej analizy.

Podejście takie generuje dwa zagadnienia które należy rozpatrzyć:

- wyznaczanie położenia węzła sieci,
- uproszczanie lokalne topologii sieci.

**Wyznaczanie położenia węzła sieci sztywnotorowej** (rys. 3.21d, 3.22) wymaga globalnego spojrzenia na sieć. Jeżeli tak jak na rysunku 3.22 występuje węzeł komunikacyjny (skrzyżowanie dróg) o rozbudowanej topologii układu torowego to należy podjąć decyzję czy jest uzasadnione podzielenie tego węzła na mniejsze podwęzły. Wybór nie jest jednoznaczny oraz jest indywidualny dla każdego przypadku (por. 3.21b,d węzeł 5) i jest zależny głównie od kryteriów rozpatrywanych charakterystyk uzupełniających.

Jeżeli uzasadniona jest dalsza dekompozycja węzła to układ torowy ulega uproszczeniu do poziomu elementarnego który nie poddaje się dalszej dekompozycji lub do takiego który jest uzasadniony zgodnie z przyjętymi kryteriami analizy.

Jeżeli dalsza dekompozycja węzła jest nieuzasadniona to należy wyznaczyć położenie punktu węzłowego sieci sztywnotorowej. Rozwiązaniem najbardziej odpowiednim jest punkt ciężkości figury wyznaczonej przez obrys zewnętrzny układu torowego w węźle. Nie jest to jednak rozwiązanie łatwe do przeprowadzenia w praktyce ze względu na metody pomiarowe które są dostępne, które nie wyznaczają dokładnego przebiegu ścieżek ruchu a stanowią jedynie ich przybliżenie.

Niepewność tego pomiaru i wynikający z tego występujący błąd położenia węzła sieci sztywnotorowej jest zjawiskiem nieuniknionym. Można jedynie kontrolować pośrednio poziom tego błędu tak aby w całej sieci niedokładność ta była tego samego rzędu.

Aby zapewnić o równomiernym poziomie błędu położenia węzłów sieci sztywnotorowej należy:

1. wyznaczyć linie pomiędzy skrajnymi węzłami sieci,
2. dokonać pomiaru odległości:
  - długości linii,
  - odległości pomiędzy węzłami oraz zsumować odległości odcinków międzywęzłowych dla linii,
3. wyznaczyć różnice z wielokrotnych pomiarów,
4. przeanalizować rozkład różnic.

Jeżeli rozkład różnic jest równomierny i poszczególne wartości są relatywnie nieduże w odniesieniu do długości linii to przyjęte położenia punktów węzłowych sieci sztywnotorowej można uznać za poprawne.

**Upraszczenie lokalnej topologii sieci sztywnotorowej** jest krokiem podyktowanym głównie praktycznymi możliwościami rozwiązywania układów podobnych do grafów i nie ma bezpośredniego uzasadnienia teoretycznego.

Jeżeli zatem, biorąc pod uwagę kryteria analizy sieci (charakterystyki uzupełniające modułów), uproszczenie sieci nie wpłynie na zaburzenie interpretacji wyników z sieci dopuszcza się możliwość agregacji węzłów prostych (połączeń dwóch torów stanowiących trójramienny węzeł) w bardziej złożone.

Przesłanką do takiego działania może być m.in. zerowa wartość charakterystyk uzupełniających (w komunikacji miejskiej np. brak występowania przystanków na skrzyżowaniu).

**Przykład modelu sieci sztywnotorowej** przedstawiony w formie graficznej można znaleźć w załącznikach do pracy. Opisywana sieć została zilustrowana z użyciem czterech map:

- Mapa sieci (1) (rys. F.15) - dozwolone trasy przejazdu,
- Mapa sieci (2) (rys. F.16) - długości odcinków,
- Mapa sieci (3) (rys. F.17) - przystanki,

— Mapa sieci (4) (rys. F.18) - odcinki sieci.

Mapy (1 - 4) przedstawiają topologię sieci, charakterystyki uzupełniające modułów oraz uproszczony zapis graficzny dla łatwego odczytu i znajdowania tras.<sup>1</sup> Mapy posiadają pewien stopień agregacji modułów - tzn. są uproszczonym obrazem sieci, przy stopniu dekompozycji/agregacji dostosowanym do przyjętych kryteriów oceny.

Mapa sieci (1) definiuje topologię sieci, zawierając wszystkie potrzebne do jej zdefiniowania informacje. Dane konieczne i wystarczające do pełnego opisu zawarte są w trzech tabelach. Tabela „następstw odcinków” określa listę występujących modułów sieci sztywnotorowej oraz dopuszczalne przejścia między tymi modułami na trasie pomiędzy krańcowymi odcinkami linii. Tabele „początkowe węzły logiczne” oraz „końce tras na odcinkach krańcowych sieci” są uzupełnieniem tego opisu a ich wydzielenie miało charakter porządkowy. Węzły logiczne dodane zostały na odcinkach krańcowych sieci. Dzięki temu rozwiązany został problem opisu pętli na końcach linii. Problem ten wynika z faktu, iż nie jest możliwe określenie punktu na torze w którym kończy się część linii do pętli i zaczyna się linia od pętli dla przeciwnego kierunku jazdy. Dlatego też moduły powstałe w ten sposób nie posiadają oznaczonej długości. Takie postępowanie wprowadza mniejszy błąd interpretacyjny niż subiektywne szacowanie wartości<sup>2</sup>.

Mapa sieci (2) opisuje długości modułów. Jest to charakterystyka uzupełniająca modułów, której określenie wynika z kryteriów prowadzonej analizy. Podstawową częścią informacyjną na mapie jest tabela „długości odcinków”. Schemat topologii sieci zawarto dla ułatwienia odczytu.

Mapa sieci (3) określa liczbę przystanków przypadających na moduł. Jej budowa oraz sposób powstania jest analogiczny do mapy (2).

Mapa sieci (4) powstała jako ułatwienie dla szybkiego i sprawnego wyszukiwania tras i odcinków. Ilość informacji została ograniczona do minimum po to aby maksymalnie uprościć zapis z przeznaczeniem dla odbiorcy który nie zna sieci i przez to poziom szczegółowości oznaczeń pozostałych map jest zbyt duży dla uzyskania informacji o topologii. Mapa ta jest natomiast zupełnie nadmiarowa z punktu widzenia stosowanych algorytmów i przyjętej metodologii.

<sup>1</sup> UWAGA: Aby ułatwić odczytanie map również bez zaznajomienia się z całością pracy na mapach używa się terminu „odcinek” zamiast zdefiniowanego określenia „moduł”.

<sup>2</sup> Postępowanie związane ze sporządzaniem tablic następstw odcinków szczegółowo wyjaśniono na stronie 138.



## 4. Model oceny efektywności eksploatacji sieci sztywnotorowej

Sieci sztywnotorowe stanowią obszerną klasę obiektów technicznych. Przedstawiona charakterystyka tej klasy wyróżnia je zarówno spośród systemów transportowych jak i technicznych.

Zidentyfikowana odmienność grupy obiektów oraz ich klasyfikacja nie jest wystarczającym powodem dla wydzielenia osobnej klasy, gdyż zdefiniowanie klasy obiektów sieci sztywnotorowych nie jest celem samym w sobie. Jest ono w takim stopniu uzasadnione w jakim pomaga opisać parametry oraz przewidywać zachowanie sieci sztywnotorowych.

W przedstawianej pracy poszukiwana jest metoda oceny wyłączeń odcinków międzywęzłowych, będących konsekwencją planowanych remontów lub zdarzeń incydentalnych z uwzględnieniem zakłóceń jakie im towarzyszą z punktu widzenia całości sieci sztywnotorowej. Wyłączenia te wraz z ich konsekwencjami dla linii i sieci są jednym z głównych i podstawowych czynników eksploatacyjnych jakie wyróżniają systemy sieci sztywnotorowych.

Należy zauważyć, iż o objazdach będących następstwem wyłączeń odcinków można mówić tylko w przypadku rozpatrywania stałych tras. Ze stałymi trasami mamy do czynienia nawet wtedy, gdy są one pokonywane jednokrotnie.

Planowanie czynności konserwacyjnych i naprawczych wymaga określenia korzyści jakie niosą ze sobą różne harmonogramy prac, zaś w fazie projektowej (w przypadku budowy lub modernizacji) efektów dla różnych rozwiązań topologii sieci. Ocenie podlega cała, jednorodna technicznie sieć, choć nadaje się wyższe rangi elementom, które w większym stopniu wpływają na wykorzystanie potencjału sieci. Zauważyć należy, iż nie jest rozpatrywana ważność realizowanych procesów transportowych, ocena opiera się na znaczeniu poszczególnych linii a ich waga wynika z wpływu na całość sieci.

Efektywność która, zgodnie ze wcześniejszym opisem, w tej sytuacji wyłania się jako naturalne kryterium oceny, pozwala uwzględnić zarówno efekty działań projektowych jak i nakłady, których będzie wymagać ich implementacja. W fazie eksploatacji sieci pozwala zaś, jako kryterium wiodące oceny, na racjonalne gospodarowanie potencjałem sieci transportowej.

Odmienność zdefiniowanej klasy obiektów sieci sztywnotorowych w odniesieniu do analiz sieci transportowych występujących w literaturze zdecydowała o niskiej przydat-

ności dotychczasowych modeli, które stanowią w dalszej części pracy jedynie punkt odniesienia.

Dualizm opisowo-normatywnej definicji efektywności zakreśla dwa obszary analizy rozpatrywanych systemów.

Definicja w sensie opisowym akcentuje jakościowe ujęcie efektywności obejmując całościową ocenę systemu i skutków jego działania dla otoczenia. Jest to *podejście globalne* w ocenie systemów sztywnotorowych.

Definicja w sensie normatywnym jako centrum oceny efektywności przyjmuje stopień realizacji celów w określonych warunkach (otoczenia) i przedziale czasu. Zgodnie z tą definicją analiza skupia się przede wszystkim na ilościowych miarach oceny, pozwalając w przypadku sieci sztywnotorowych na głęboką ich penetrację sięgając do poziomu elementarnych składowych, którymi są węzły sieci i odcinki międzywęzłowe. Takie ujęcie efektywności jest *podejściem lokalnym*, które za punkt wyjścia w analizie bierze elementarne składowe sieci sztywnotorowej.

Globalne, opisowe spojrzenie na system sieci sztywnotorowej z uwagi na swój jakościowy charakter jest bardziej podatne na subiektywizm oceniającego. Jest zatem podejściem trudniejszym i z tego powodu poświęcono mu w pracy więcej uwagi.

#### 4.1. Globalna ocena efektywności sieci sztywnotorowej

Ocena systemu dokonana może być najwcześniej w końcowym etapie jego projektowania. Zakłada się, że system podlegający ocenie jest poprawnie zbudowany a wszelkie jego parametry wynikają z podjęcia uzasadnionych decyzji projektowych. Dlatego przyjmuje się założenie, że powstały system jest efektywny w sytuacji, gdy wszystkie linie działają w sposób planowy, przewidziany w projekcie oraz nie występują zaburzenia pracy sieci pochodzące od jego infrastruktury.

Efektywność w sensie opisowym zgodnie z definicją, stanowiąca globalną ocenę sieci sztywnotorowej, powinna być wyrażona poprzez odpowiednik wskaźnika syntetycznego. Jest to ocena ogólna systemu. Wskaźnik ten powinien pozwalać m.in. na porównanie systemów sieci sztywnotorowych oraz ocenę ich eksploatacji w czasie.

Kryteria oceny tego wskaźnika powinny uwzględniać przyjęty poziom szczegółowości oceny eksploatacji sieci transportowej. Dla efektywności systemu sieci sztywnotorowej w sensie opisowym kryteriami tymi są: poziom akceptacji oraz skuteczność.

Poziom akceptacji określony funkcją akceptacji (rys. 2.3) wyraża stopień tolerancji dla obniżenia jakości ruchu. Słuszność tego podejścia potwierdza praktyka stosowana w systemie kolejowym Tokio, gdzie *w przypadku opóźnień lub awarii parametrem przyjmowanym jako kryterium organizacji planów jest stopień niezadowolenia pasażerów*

[...]¹. Czynnikiem akceptacji, zgodnie z wcześniejszym założeniem dla przyjętej perspektywy oceny efektywności, uwzględnia oddziaływanie analizowanego systemu z otoczeniem. Z funkcji akceptacji wyprowadza się miarę efektywności.

Skuteczność jako czynnik w ocenie efektywności systemów sieci sztywnotorowych odnosi się do stopnia realizacji celu oraz wykorzystania potencjału sieci. Poprzez określany stopień realizacji celu uwzględnia się oddziaływanie systemu z otoczeniem, zaś fakt, iż rozpatrywane sieci mogą być częściowo, *lokalnie skuteczne*² powoduje, iż efektywność może być określana w tej perspektywie wielostopniowo wyznaczając pośrednio stopień wykorzystania potencjału sieci. Miarę skuteczności wyprowadza się ze stopnia realizacji celu.

W pracy ocenie podlegają zakłócenia działania sieci i ich następstwa. Są to zjawiska negatywne, zatem mierzyć je można współczynnikiem kary względem wielkości decydujących o poziomie braku akceptacji i utraty skuteczności.

W przypadku sieci sztywnotorowych w związku z realizowaną funkcją przemieszczania ładunków i osób o poziomie niezadowolenia pasażerów, jakości podróży oraz jakości procesu przemieszczania ładunku decyduje różnica odległości lub czasu względem wartości planowej. Wielkością odniesienia dla miary kary będzie więc, w przypadku oceny poziomu akceptacji utraty jakości ruchu, zmiana odległości i czasu transportu względem planowego rozkładu jazdy.

Celem realizowanym w sieci transportowej jest obsługa wyznaczonych punktów nadania i odbioru oraz przemieszczanie ładunków i ludzi pomiędzy tymi punktami. Miara skuteczności określać powinna stopień obsługi tych punktów, a wielkość kary związana jest z liczbą opuszczonych punktów obsługiwanych w sieci. W przypadku stałych linii wyraża również istotność zachowania trasy normalnej (planowej).

Kara przypisywana nieprawidłowościom w działaniu sieci sztywnotorowej wynika zatem zarówno ze zmiany tras linii jak i nieobsłużenia wyznaczonych punktów. Można zatem wyrazić ją jako funkcję wielu zmiennych: różnicy czasu i/lub drogi oraz opuszczonych przystanków na liniach. Zmienne te wynikają z odrębnych, przyjętych wcześniej kryteriów oceny, a że nie ma podstaw do wnioskowania o ich dodatniej korelacji to mogą być traktowane rozdzielnie jako składowe wskaźnika końcowego.

Rozpatrując przemieszczanie się środka transportu określeniu podlega droga i czas w którym jest ona pokonana. W systemach rzeczywistych z uwagi na warunki techniczne i wpływ otoczenia występuje słaba zależność pokonania odległości od czasu. Można sformułować co najwyżej hipotezę, iż z pewnym prawdopodobieństwem pojazd pokona

¹ Masamichi Ogasa, Tokio, RTRI, wypowiedź zarejestrowana w: *Logistik der Massen, Tokio Bahnsystem*, scenariusz i reżyseria: Friedemann Hottenbacher, emisja: hitec 22.04.2007, 3sat.

² Przykład: sieć skuteczna na kilku liniach podczas, gdy w reszcie sieci panują warunki uniemożliwiające ruch środków transportu.

przynajmniej określony dystans. Związek między drogą i czasem nie jest zatem deterministycznie zdefiniowany, przez co zależność funkcyjna nie jest ściśle określona.

W ocenie podmiotowej, gdy rozpatrywany jest pasażer lub ładunek w procesie transportowym, przemieszczenie związane jest z wyborem środka transportu oraz rezerwacją czasu. Droga przebyta w trakcie przemieszczania się do punktu docelowego (perspektywa przedmiotowa) ma drugorzędne znaczenie. Zakłada się najczęściej skuteczność podjętego działania a ocenie podlega jego jakość. Jeżeli przyjąć niepewność osiągnięcia celu to niepewność ta może być również odniesiona do długości czasu przebywania rozpatrywanego podmiotu w stanie transportu. Podejście takie jest intuicyjne i powszechnie spotykane w analizie procesu transportowego.

Gdy jako podmiot oceny obrana jest infrastruktura transportowa znaczenie drogi i czasu w opisie ulega zmianie. Na kolei, gdzie na torze stacyjnym lub odcinku toru szlakowego znajdować może się tylko jeden pociąg, rezerwacja toru powoduje jego czasową niedostępność, następstwem czego jest zmiana konfiguracji sieci dla pozostałych pociągów przemieszczających się w danej chwili do momentu zwolnienia odcinka. Znaczenie określenia położenia oraz wyznaczenia pokonanej drogi względem czasu zwiększa się. Czas pozostaje jednak znaczącym czynnikiem określającym stan sieci. Uwzględniając czas jako zmienną kary wprowadza się do analizy aspekt dynamicznie zmieniającej się topologii sieci, co wpływa negatywnie na interpretację wyników.

Jeśli w danej sieci sztywnotorowej nie występuje rezerwacja odcinków linii to, z punktu widzenia całości sieci, zaobserwować można pewną nieokreśloność położenia środków transportu od czasu. Mając do dyspozycji rozkład jazdy w sieci można tylko z pewną dokładnością określić położenie pojazdów w danej chwili. Nawet jeśli takt jest bardzo mały to nieokreśloność położenia bez monitorowania zewnętrznego (np. lokalizacja pojazdów przez GPS) jest znaczna a dla wielu przebiegów danej trasy zależność położenia w czasie zachowuje się losowo. Zatem i wyznaczenie wykorzystania potencjału sieci względem czasu jest niedokładne.

Z uwagi na znaczenie topologii w sieciach sztywnotorowych dominujące znaczenie, jako zmiennej kary związanej z akceptacją jakości ruchu, przyjmuje różnica drogi przebytej na skutek zakłóceń w sieci względem stałej trasy. Wielkość ta odnosi się nie tylko do realizacji procesu transportowego danego środka transportu ale obejmuje również wpływ na całą sieć. Im dłuższa jest trasa zastępcza tym bardziej wyczerpywany jest potencjał sieci dla uzyskania tego samego efektu co w przypadku drogi planowej.

Zatem globalna ocena efektywności, wyrażająca efektywność systemu sieci sztywnotorowej w sensie opisowym, jest funkcją kary której zmiennymi są: różnica długości trasy wynikająca z zaburzenia pracy sieci oraz liczba nieobsłużonych punktów sieci, stanowiąca miejsca nadania/odbioru na liniach. Kara ta obniża efektywność eksploatacyjną zaprojektowanego systemu sztywnotorowego.

Sieci sztywnotorowe są zbiorami linii transportowych. Linie te, jak opisano w rozdziale definiującym sieci sztywnotorowe, są stałymi trasami (torami ruchu), które określone są przez pokonywane węzły i odcinki międzywęzłowe w trakcie przemieszczania się środka transportu. Ocena funkcjonalna sieci jest wobec tego oceną poszczególnych linii uwzględniającą ich znaczenie w sieci. Jednym z celów tej oceny jest przy tym porównanie dwóch odmiennych sieci sztywnotorowych (o różnym rozmiarze i topologii). Aby dokonać agregacji wyników uzyskanych dla poszczególnych linii a później móc porównywać różne sieci niezbędne jest przyjęcie jednej wspólnej wartości minimalnej oraz maksymalnej kary dla analizowanych tras. Uwzględnić należy różnice pomiędzy liniami (długość, natężeniu ruchu, ...) determinujące ich znaczenie w sieci. Najczęściej spotykana forma kary jaką jest określenie kwoty pieniężnej związanej z ponoszoną stratą, nie spełnia tych wymagań. Najbardziej odpowiednią formą wyrażenia jednostki, wykazującą poszukiwane własności jest bezwymiarowy wskaźnik.

Każda z linii otrzymać może karę o wartości  $F$  określoną ograniczoną funkcją  $f(x, y)$ :

$$\bigvee_{a,b \in \mathcal{R}} \bigwedge_{x,y \in A} a \leq f(x, y) \leq b \quad , \quad (4.1)$$

gdzie:  $A \subset D_f$ , oraz

- $x \in \mathcal{R}$  - zmiana długości drogi,
- $y \in \mathcal{Z}$  ,  $\mathcal{Z} = \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$  - nieobsłużone punkty sieci,
- $a, b \in \mathcal{R}$  - stałe,
- $D_f$  - dziedzina funkcji.

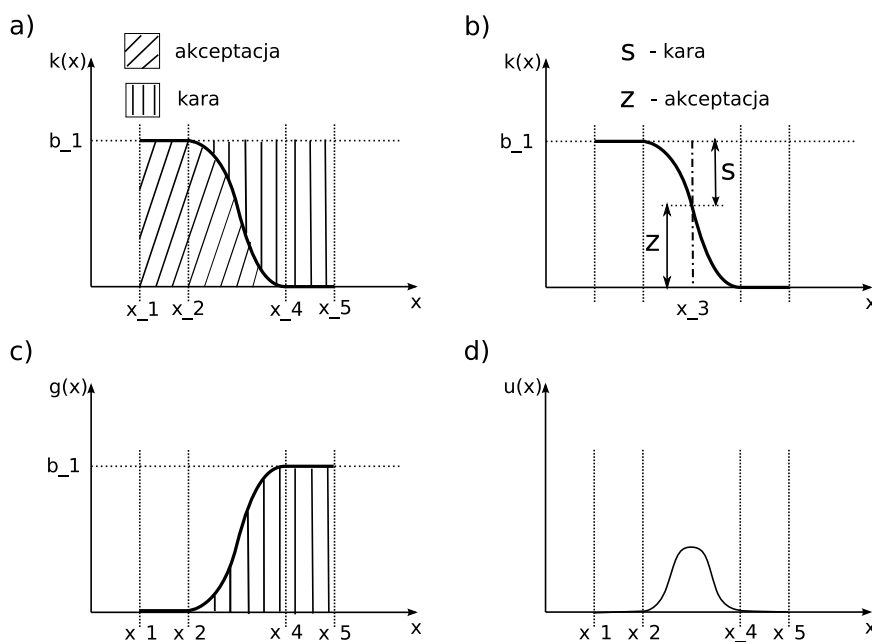
Wartości kar  $F$ , gdzie  $F \in \langle a, b \rangle$ , wyznaczone dla poszczególnych linii są następnie korygowane uwzględniając ich znaczenie w sieci.

Postulowany wcześniej brak korelacji pomiędzy zmienną oznaczającą zmianę długości drogi ( $x$ ) oraz liczbą nieobsłużonych punktów sieci ( $y$ ) i wynikająca z tego możliwość ich rozdzielnego traktowania sprawia, że funkcję  $f(x, y)$  kary całkowitej wynikającą z zaburzeń pracy linii stanowi suma

$$f(x, y) = g(x) + h(y) \quad (4.2)$$

kary za zmianę długości trasy oraz ominięcie obsługiwanych punktów sieci.

Dla funkcji kary  $g(x)$  determinowanej zmianą długości trasy, która wynika z objazdu będącego następstwem wyłączenia odcinków linii można określić pewne własności jakie ma zachowywać. Funkcja ta wyprowadzona jest ideowo z funkcji akceptacji niedogodności



Rysunek 4.1. Związek funkcji kary  $g(x)$  z funkcją akceptacji niedogodności  $k(x)$

związanej z obiektem  $k(x)$ , której postać można przyjąć za [54] jako:

$$k(x) = \begin{cases} 1, & \text{dla } x \in \langle x_1, x_2 \rangle \\ 0,5 \cdot \cos \left[ \frac{\pi}{x_4 - x_2} \cdot (x - x_2) \right] + 0,5, & \text{dla } x \in (x_2, x_4) \\ 0, & \text{dla } x \in \langle x_4, x_5 \rangle \end{cases} \quad (4.3)$$

gdzie zgodnie z (4.1)  $a = 0$  i  $b = 1$ .

Zakłada się, iż w miarę zwiększania zakłóceń w sieci zmniejsza się poziom akceptacji ich konsekwencji (rys. 2.3b).

Na rysunku 4.1a przedstawiony został uogólniony obraz funkcji akceptacji z zaznaczeniem wartości charakterystycznych tej funkcji. Przy braku zakłóceń (determinowanych ogólną wielkością  $X$ ) dla  $x = x_1$  (rys. 4.1a) poziom ten przyjmuje wartość maksymalną równą  $b_1$ . Dla pewnego poziomu występujących zakłóceń ( $x_3$ ) charakterystyczny jest określony poziom akceptacji  $z$  oraz dezaprobaty będącej dopełnieniem  $s$  do wartości wyjściowej  $b_1$  (rys. 4.1b). Dopełnienie to wyraża wielkość uciążliwości zakłóceń pracy sieci. Uciążliwość ta jest nośnikiem dodatkowych kosztów realizacji procesów transportowych w danych warunkach. Jej poziom jest więc adekwatnym wskaźnikiem poziomu kosztów ponoszonych przez realizujących procesy transportowe w danym systemie transportowym i kary jaką byli by oni skłonni nałożyć na operatora sieci oraz wyraża się funkcją  $g(x)$  (rys. 4.1c). Krańcowe przyrosty funkcji  $g(x)$  są zmienne a dynamika tej zmienności (opisana funkcją  $u(x)$ ) wykazuje istnienie pewnej wartości po przekroczeniu której następuje zanikanie intensywności narastania kary związanej z przyrostem czynnika  $X$  (w tym przy-

padku wydłużenia drogi, rys. 4.1d).

Przyjęcie ogólnej funkcji akceptacji wiąże się z uproszczeniami. Ostatecznie wyznaczony przebieg funkcji kary musi być jednak zgodny (nie może być sprzeczny) z funkcją akceptacji z której on wynika. Odnosząc się do celu oraz interpretacji funkcji kary można określić dodatkowe warunki jakie powinna ona spełniać. Zmiana długości trasy sieci biorąc pod uwagę możliwość powstawania pętli oraz różną wielkość sieci zawiera się w przedziale  $(-\infty, +\infty)$  zatem funkcja ta powinna być określona na całym przedziale liczb rzeczywistych. Trasa może być maksymalnie zredukowana tylko o wielkość jej długości planowej osiągając tym wartość 0 jednak z uwagi na możliwość realizowania nieokreślenie długich tras przyjmując należy iż skrócenie drogi może dążyć do nieskończoności ( $x \rightarrow -\infty$ ). Funkcja ta jest w przedziale  $\langle x_2, x_4 \rangle$  funkcją rosnącą. Wartość kary w przypadku planowej długości trasy linii wynosi 0 czyli  $g(0) = 0$ . Funkcja ta zbieżna jest do stałej wartości  $b_1$  dla  $x \rightarrow +\infty$ , czyli nieskończonego przyrostu drogi na trasie ( $x_4 = x_5 = +\infty$ , rys. 4.1c). Wydłużanie drogi powoduje bowiem zawsze, niezależnie od długości trasy wzrost uciążliwości warunków panujących w sieci. Wydłużanie długości jednej linii względem planowej obniża zawsze dostępny potencjał danej sieci, niezależnie od jej bezwzględnej długości aż do jego całkowitego wyczerpania.. Nie można zatem wyznaczyć wielkości  $x_4$  po osiągnięciu której poziom kary nie jest wrażliwy na dalsze wydłużenie trasy.

To samo odnosi się do krańcowo małych przyrostów długości trasy związanych z wydłużeniem drogi z powodu objazdu. Przyrost ten zawsze wiąże się, z uwagi na brak izolacji pojedynczej linii w sieci, z wykorzystaniem potencjału eksploatacyjnego sieci. Zawsze jest więc dodatni względem wielkości wydłużenia drogi, czyli odnosząc się do ogólnej wielkości  $X$ :  $x_1 = x_2 = 0$  (rys. 4.1c).

Dla uproszczenia dalszego wnioskowania analiza podzielona jest na cztery części zgodnie z podziałem na cztery pola układu współrzędnych (rys. 4.2).

**Pole I** ( $x \geq 0, g(x) \geq 0$ )

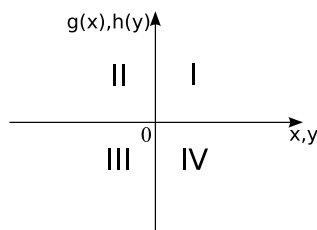
Funkcja akceptacji bezpośrednio definiuje I pole układu współrzędnych (rys. 4.2). Zgodnie z wcześniejszymi uwagami w polu tym funkcja  $g(x)$  określona jest na przedziale  $\langle 0, +\infty \rangle$  oraz jest ograniczona (wartość funkcji  $G \in \langle 0, b_1 \rangle$ ).

**Pole IV** ( $x \geq 0, g(x) \leq 0$ )

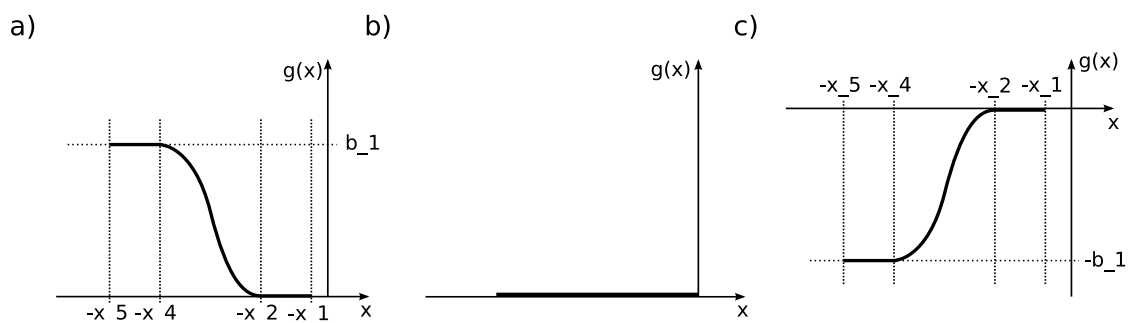
Jeżeli funkcja przybiera wartość  $g(0) = 0$ , oraz jest funkcją rosnącą dla  $x > 0$ , to nie może przebiegać przez pole IV (rys. 4.2). Jest to zgodne z interpretacją funkcji: zwiększanie długości trasy nie może powodować ujemnej kary (nagrody).

**Pole II** ( $x \leq 0, g(x) \geq 0$ )

Funkcja  $g(x)$  nie może przebiegać przez II pole układu. Zgodnie z przyjętą interpretacją oznaczałoby to, iż skrócenie drogi jest karane. Takie wnioskowanie jest niepoprawne.



Rysunek 4.2. Podział kartezjańskiego układu współrzędnych na pola

Rysunek 4.3. Warianty funkcji kary  $g(x)$  dla  $x < 0$ 

Samo skrócenie drogi (znaczenie wierności realizacji trasy planowej ujęte jest funkcją  $h(y)$ ) jest zjawiskiem pozytywnym dla warunków panujących w sieci a dla realizującego procesy transportowe może co najwyżej oznaczać iż pierwotna trasa była wyznaczona nieracjonalnie. W przypadku gdy wydłużenie drogi jest czynnikiem dominującym i silnie skorelowanym z czasem realizacji procesu transportowego można co prawda przyjąć iż skrócenie drogi może być negatywne. Dla pasażera komunikacji zbiorowej zbyt wczesne przybycie na miejsce może wiązać się z tym, że musi oczekiwać na dalszą realizację podróży po przesiadce jednak przyjęta perspektywa oceny sieci pod względem zakłóceń pracy całego układu torowego powoduje, iż skrócenie drogi nie może być oceniane negatywnie (rys. 4.3a).

Dla  $x < 0$  funkcja  $g(x)$  może zatem przybierać jedynie wartość  $g(x) \leq 0$  (rys. 4.3b,c).

### **Pole III** ( $x \leq 0, g(x) \leq 0$ )

W wielu systemach sieci sztywnotorowych dominujące znaczenie w ocenie ma sam fakt obsłużenia określonych punktów. Systemy te nierzadko, jak w przypadku transportu bliższego w magazynach, charakteryzują się prostymi cyklami pracy urządzeń gdzie środek transportu realizuje przemieszczenie ładunku pomiędzy dwoma miejscami bez obsługi punktów pośrednich oraz kończąc cykl powraca do miejsca bazowego. Sytuacja taka ma miejsce w przypadku układnic regałowych, wózków zrobotyzowanych lub innych środków transportu nie posiadających operatora oraz odpowiedniego oprzyrządowania do manipulacji ładunkiem. W systemach tych kryterium drogi ma znaczenie drugorzędne i



wynika głównie z kompromisu pomiędzy kolizyjnością i wydajnością systemu. Skrócenie trasy pojazdu jest więc zawsze wiązane z pozytywnymi skutkami. Biorąc pod uwagę korzyści wynikające ze skrócenia tras objawiające się odciążeniem systemu i zwiększeniem dostępnego potencjału sieci przebieg funkcji  $g(x)$  dla  $x < 0$  jest symetryczny względem początku układu (rys. 4.3c).

Przyjmując opisany skrajny przypadek obsługiwaną przez linię transportową tylko dwóch punktów sieci: początkowego i końcowego, każde skrócenie drogi związane jest z pozytywnymi skutkami dla całości układu torowego. Zatem powtarzając rozumowanie analogiczne do tego, które przeprowadzone zostało dla  $I$  pola układu współrzędnych otrzymuje się:  $-x_5 = -x_4 = -\infty$  oraz  $-x_1 = -x_2 = 0$ , czyli

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} g(x) = -b_2 \text{ oraz } g(0) = 0, \quad (4.4)$$

bowiem zgodnie z przyjętą interpretacją funkcji  $g(x)$  skrócenie drogi przy braku istotności zachowania trasy planowej powoduje wzrost dostępnego potencjału sieci sztywnotorowej.

Jeżeli jednak dana linia składa się z wielu punktów nadania/odbioru występujących na drodze, czyli zachowanie planowej trasy jest istotne to skrócenie drogi nie jest pozytywne pomimo odciążenia sieci, gdyż ingeruje w proces transportowy. Zgodnie z tym skrócenie drogi może być oceniane pozytywnie jedynie w przypadku niepoprawnego jej wytyczenia co wynika z błędu projektu a nie jest przedmiotem rozpatrywania organizacji ruchu w przypadkach awaryjnych i planowych, eksploatacyjnych wyłączeń odcinków sieci. W przypadku gdy linia sieci sztywnotorowej składa się z wielu punktów nadania/odbioru funkcja  $g(x)$  może zatem, zgodnie z wcześniejszymi spostrzeżeniami, przyjmować wartość stałą w przedziale  $x \in \langle -\infty, 0 \rangle$  równą  $G = 0$  (rys. 4.3b).

Przypomnieć należy, iż zachowanie wierności trasy objęte jest oceną w funkcji  $h(y)$ , czynnik ten nie jest w ten sposób pominięty.

Funkcja  $g(x)$  wyrażająca karę wynikającą z poziomu akceptacji dla wydłużenia trasy linii w przypadku wyznaczenia objazdu określona jest zatem na przedziale  $x \in (0, \infty)$  krzywą „w kształcie S” zaś na przedziale  $x \in \langle -\infty, 0 \rangle$  krzywą „w kształcie S” lub wartością stałą.

Omówione skrajne przypadki (linia złożona z punktu nadania i punktu odbioru, oraz duża liczba obsługiwanych punktów na linii) dla  $x \leq 0$  obserwowane są najczęściej, lecz teoretycznie wyróżnić można jeszcze specyficzną grupę systemów dla których funkcja kary będzie złożeniem wcześniej opisanych. W systemach tych występować może relatywnie wąski przedział  $x \in (-x_2, 0)$  (rys. 4.3c) w którym ocena wyrażona karą nie jest wrażliwa na skrócenie pokonywanej trasy i jest równa 0. Dla  $x \leq -x_2$  funkcja kary przyjmuje postać krzywej „w kształcie S”. Opisanemu przebiegowi funkcji  $g(x)$  sprzyja sytuacja w której linie mają znaczną długość. W trakcie przeprowadzonych badań nie zidentyfikowano jednak

przypadku rzeczywistego systemu który zachowywałby właśnie takie własności. Biorąc pod uwagę przytoczoną perspektywę oceny po odpowiedniej analizie przypadku można było zawsze określić przynależność do dwóch podstawowych opisanych wcześniej typów.

Miarę utraty skuteczności sieci sztywnotorowej wyrażoną funkcją kary  $h(y)$  i determinowaną ilością opuszczonych punktów nadania/odbioru na linii wyprowadza się ideowo z funkcji satysfakcji  $F_s$  (rys. 2.3). Funkcja satysfakcji określa poziom zadowolenia determinowany ogólną wielkością  $Z$  (rys. 4.4a jest uogólnionym obrazem funkcji satysfakcji), która opisuje charakterystykę obiektu technicznego. Zakłada się, iż wraz ze wzrostem wielkości  $Z$  determinującej jakość procesu realizowanego przez pewien obiekt techniczny, wzrasta poziom satysfakcji z tego obiektu. Jako określenie wielkości tej satysfakcji przyjąć można za [54] funkcję satysfakcji  $m(z)$  w postaci:

$$m(z) = \begin{cases} 0, & \text{dla } z \in \langle z_1, z_2 \rangle \\ 0,5 \cdot \sin \left[ \frac{\pi}{z_4 - z_2} \cdot \left( z - \frac{z_2 + z_4}{2} \right) \right] + 0,5, & \text{dla } z \in (z_2, z_4) \\ 1, & \text{dla } z \in \langle z_4, z_5 \rangle \end{cases} \quad (4.5)$$

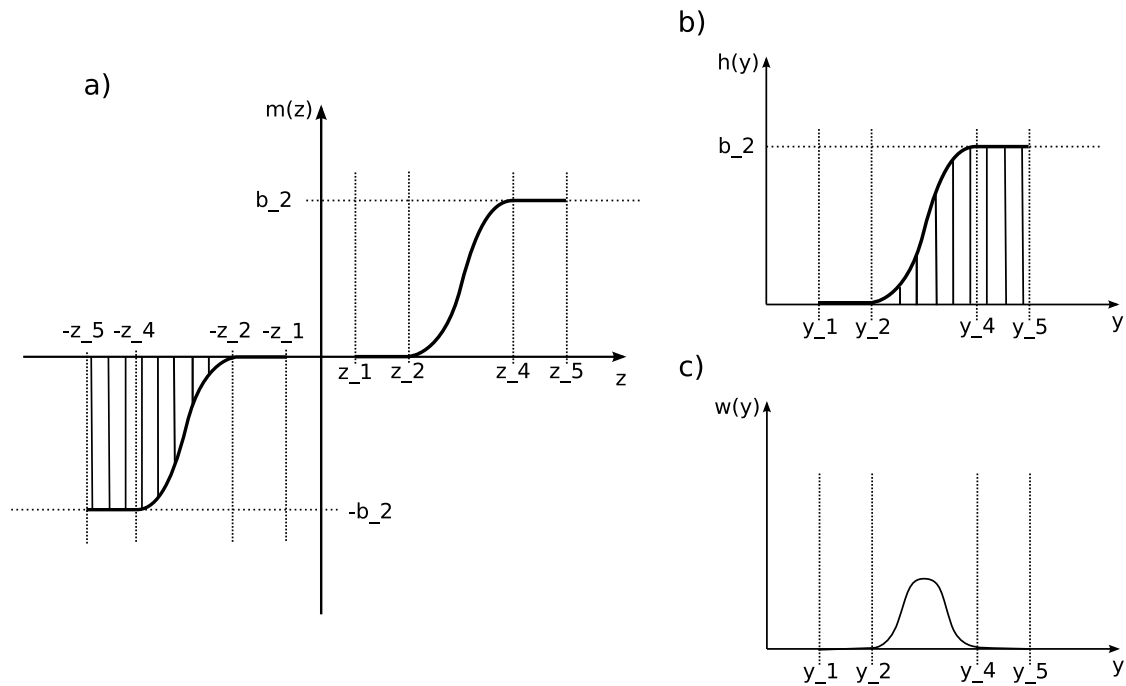
gdzie zgodnie z (4.1)  $a = 0$  i  $b = 1$ .

Konsekwencją tego założenia jest stwierdzenie kontynuujące ten wywód myślowy, że w miarę utraty własności obiektu, objawiającej się zmniejszeniem wielkości  $Z$  (czyli  $z \leq 0$ ,  $z \rightarrow -\infty$ ), która opisuje również utratę stopnia realizacji celu realizowanego przez ten obiekt, funkcja satysfakcji maleje i jest symetryczna względem początku układu współrzędnych (rys. 4.4a).

Jeśli dziedzina funkcji  $m(z)$  określająca poziom satysfakcji przeddefiniowana zostanie tak, że zmniejszenie wartości  $Z$  potraktowane zostanie jako wzrost utraty  $Y$  to III pole układu współrzędnych z rysunku 4.4a przekształci się w obraz funkcji przedstawiony na rysunku 4.4b. Interpretować należy to w ten sposób, iż zanik pewnej cechy oznacza to samo co zwiększenie jej niedoboru, lecz zamiast satysfakcji determinowanej tą cechą mierzone jest jej przeciwieństwo.

Funkcja  $h(y)$  charakteryzuje się narastającą nieliniowo dynamiką przyrostów krańcowych aż do osiągnięcia wartości maksymalnej po przekroczeniu której następuje zanikanie intensywności ich narastania (rys. 4.4c).

Funkcja  $h(y)$  (rys. 4.4b) obrazuje spadek satysfakcji z obiektu w miarę przyrostu utraty jego własności odpowiedzialnej za realizację celu. Spadek ten wyraża narastająca dodatnia wielkość, którą traktować można jako nośnik kosztów, gdyż wynika z obniżenia jakości procesu realizowanego przez obiekt techniczny, które spowodowane jest utratą własności obiektu technicznego.



Rysunek 4.4. Związek funkcji kary  $h(y)$  z funkcją satysfakcji  $m(z)$

Celem procesu transportowego w analizowanych systemach sieci sztywnotorowych jest przemieszczanie ładunku pomiędzy punktami w sieci. Główną własnością sieci transportowej traktowanej jako obiekt techniczny jest zdolność do obsłużenia zadanych punktów nadania/odbioru. Z tego powodu o utracie skuteczności sieci można mówić wtedy, gdy te punkty nie są obsługiwane.

Współdzielenie obsługiwanych punktów oraz infrastruktury przez różne linie oraz fakt, że linie te na ogół obsługują więcej niż jeden punkt powodują, iż własność jaką jest zdolność obsługi punktów nadania i odbioru nie jest tylko funkcją odległości pokonywanej przez środki transportu<sup>3</sup> ale wynika również z topologii sieci.

Nieobsłużone punkty nadania/odbioru stanowiące parametr określający własność sieci transportowej są dla przewoźnika nośnikiem kosztów, które operator sieci powinien zrekompensować. Funkcja  $h(y)$  wyraża zatem karę operatora sieci z tytułu nieobsłużenia wszystkich punktów nadania/odbioru.

Funkcja kary  $h(y)$  wprowadzona została z ogólnej funkcji satysfakcji, co wiąże się z przyjęciem wielu uproszczeń. Przyjęty, ostateczny przebieg funkcji kary  $h(y)$  musi być jednak z nią zgodny (nie może być sprzeczny) z funkcją satysfakcji z której ona ideowo wynika. Ogólny charakter przedstawionej funkcji  $F_s$  wymaga doprecyzowania założeń, aby odnosząc się do celu funkcji kary  $h(y)$  determinującego interpretację wyznaczyć jej dokładny przebieg.

W sieci sztywnotorowej występuje skończona liczba obsługiwanych punktów nada-

<sup>3</sup> W miarę wydłużania się drogi wzrasta prawdopodobieństwo niedotarcia do celu.

nia/odbioru. Funkcja oparta na tej wielkości określona jest na zbiorze dodatnim ograniczonym od góry. Dziedzina funkcji  $h(y)$  określona jest co najmniej na przedziale  $\langle y_1, y_5 \rangle$ . Gdy obsługiwane są wszystkie punkty funkcja przyjmuje wartość 0, czyli  $h(0) = 0$ . Dla wartości  $y_5$  funkcja przyjmuje wartość maksymalną, wspólną dla wszystkich linii w sieci. Funkcja ta nie może być zatem wyrażona wartością pieniężną a najbardziej adekwatną do prezentowanych wymagań jest wielkość bezwymiarowa. Funkcja jest nieliniowa, rosnąca w całym przedziale na którym jest określona. Każdy kolejny nieobsłużony punkt sieci wiąże się z utratą jej skuteczności. Zatem biorąc pod uwagę wcześniejsze rozważania  $y_1 = y_2 = 0$  oraz  $y_4 = y_5 = d$  oraz  $h(d) = b_2$ . Funkcję  $h(y)$  opisuje krzywa określona na przedziale  $\langle 0, y_4 \rangle$  „w kształcie S”. W przypadku linii o wielu obsługiwanych punktach funkcja wyraża wierność trasie planowej, gdyż punkty te stanowią w tym przypadku również rodzaj punktów kontrolnych. Wielkość kary  $h(y)$  naliczana jest dla każdej linii sieci sztywnotorowej a następnie korygowana o znaczenie danej linii w sieci.

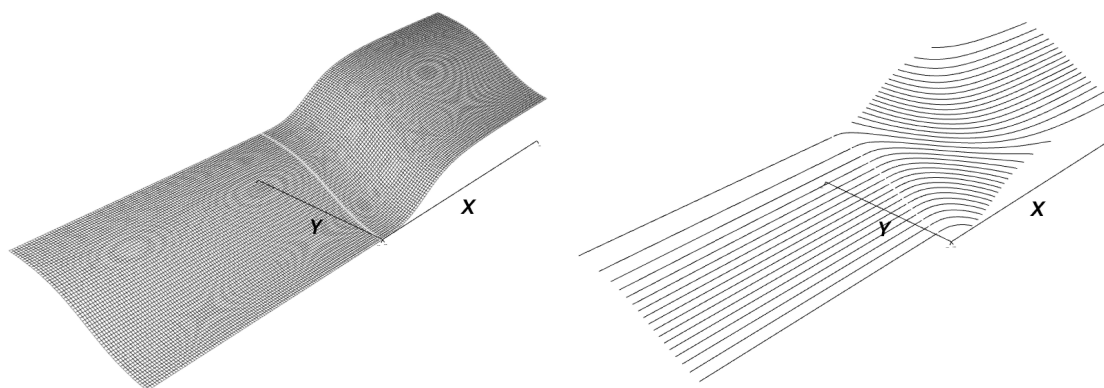
Podsumowując dotychczasowe rozważania, funkcja  $f(x, y)$  określająca karę, związana z realizacją objazdu na stałej trasie linii sztywnotorowej, zdefiniowana jest przez dwie zmienne: zmianę długości drogi oraz liczbę opuszczonych obsługiwanych punktów sieci. Funkcja ta występuje w trzech podstawowych postaciach zgodnie z trzema głównymi przypadkami oceny. W pierwszym przypadku dla linii długich o dużej liczbie obsługiwanych punktów sieci charakterystyczny jest brak wrażliwości na zmniejszenie długości drogi poniżej wielkości planowej (rys. 4.5). W drugim przypadku gdy obsługiwane są dwa punkty sieci: nadania i odbioru oraz przebieg trasy ma znaczenie drugorzędne funkcja  $f(x, y)$  jest symetryczna względem początku układu współrzędnych (rys. 4.5). Trzecim przypadkiem jest teoretycznie wyróżniony przypadek mieszany z wyraźnym przedziałem braku wrażliwości na skrócenie trasy (rys. 4.5). Na przedstawionych ilustracjach (rys. 4.5) aby zapewnić czytelność zarówno w formie drukowanej jak i na ekranie, trójwymiarowe wykresy powierzchniowe uzupełniono konturowymi.

W dotychczasowym opisie posługiwano się ogólnym przybliżeniem nieliniowej zależności funkcji  $f(x, y)$  określając ją jako krzywa „w kształcie S”.

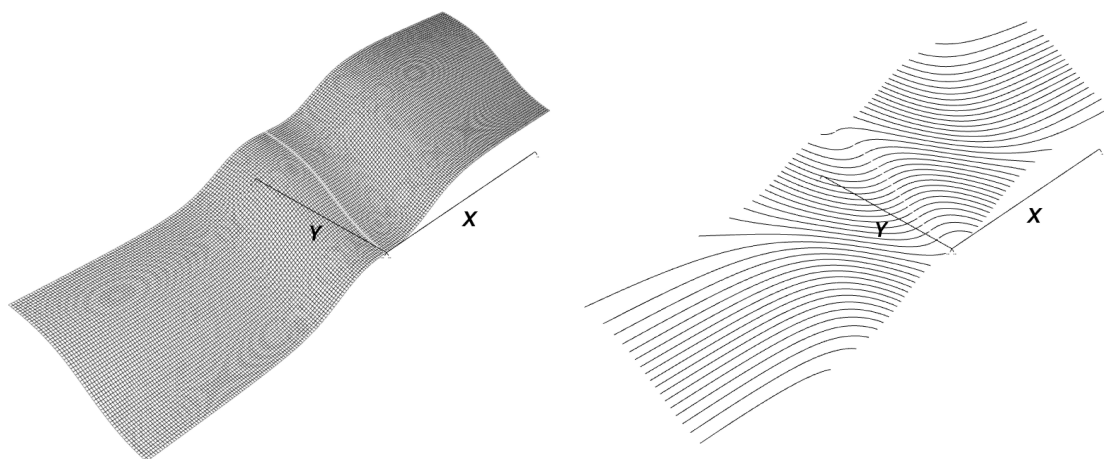
Grupa charakterystycznych krzywych  $S$  została w matematyce rozpoznana i szczegółowo opisana (tab. 4.1). Wśród krzywych  $S$  wyróżnić można trygonometryczne, jak arcus tangens lub tangens hiperboliczny, wykładnicze (rys. 4.6) oraz pokrewne jak logistyczna.

Najobszerniej opisaną w literaturze i jedną z najczęściej stosowanych jest funkcja logistyczna. Pierwszeństwo w zastosowaniu funkcji logistycznej przyznaje się P.F. Verhulst'owi zaś jako pierwszego propagatora jej wykorzystania uznaje się R.F. Pearla, który nadał jej stosowaną do czasów obecnych formę.[86]

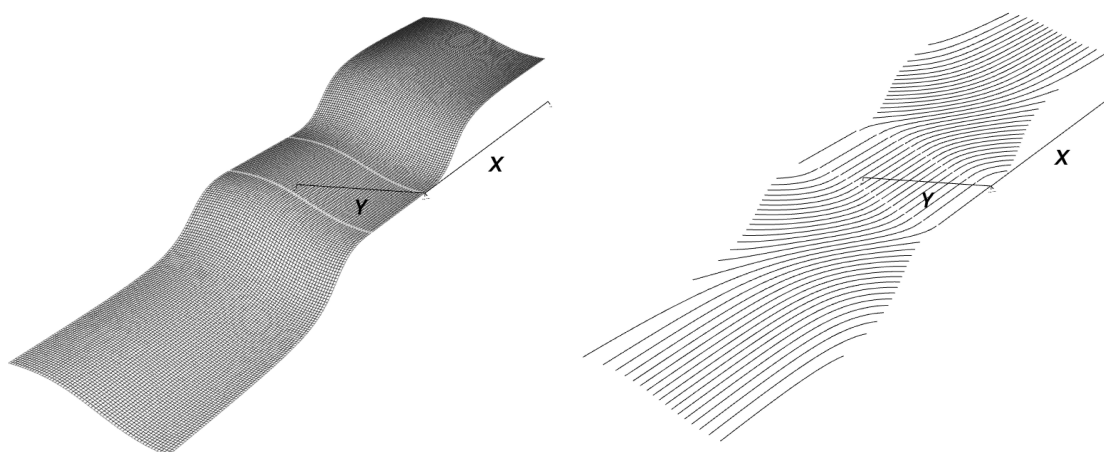
Pierwszym zastosowaniem funkcji logistycznej było przeprowadzone przez Pearla modelowanie liczby populacji *drosophila melangaster* w izolowanych warunkach. Późniejsze obserwacje wykazały, iż *prawu logistycznemu* podlegają prawie wszystkie organizmy



(a) Brak wrażliwości na zmniejszenie długości drogi poniżej wielkości planowej (np. linia tramwajowa)



(b) Skrócenie drogi względem trasy planowej jest korzystne dla systemu i nie zakłóca prowadzonych procesów transportowych (np. układnica regałowa)

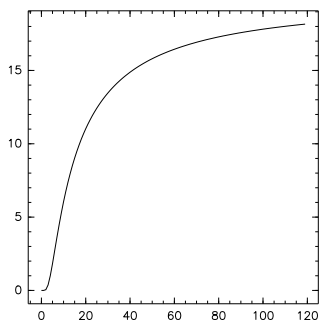


(c) Wariant mieszany z wyraźnym przedziałem braku wrażliwości na skrócenie trasy

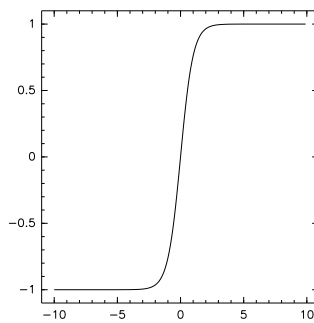
Rysunek 4.5. Ogólne postacie funkcji kary  $f(x, y)$  określającej globalną efektywność sieci sztywnotorowej ( $x$  - zmiana długości trasy,  $y$  - opuszczone punkty obsługiwane przez linię)

Tabela 4.1. Wybrane, powszechnie stosowane funkcje  $S$ 

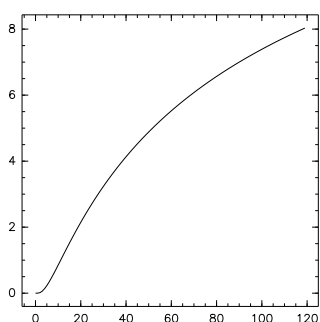
Lp.	Nazwa i opis	Rys.
1	wykładnicza eksponencjalna 1 [86] $y = \exp\left(a + \frac{b}{x}\right)$ $x \geq 0, b < 0$ , punkt przegięcia w punkcie $\left(\frac{-b}{2}, e^{a-2}\right)$ $\lim_{x \rightarrow \infty} y = e^a$	4.6 $a = 3$ $b = -12$
2	tangens hiperboliczny $y = \tanh(x)$	4.6
3	wykładnicza eksponencjalna 2 [86] $y = \exp\left(a + \frac{b}{\sqrt{x}}\right)$ $x \geq 0, b < 0$ , punkt przegięcia w punkcie $\left(\frac{-b^2}{9}, e^{a-3}\right)$ $\lim_{x \rightarrow \infty} y = e^a$	4.6 $a = 3$ $b = -10$
4	wykładnicza eksponencjalna 3 [86] $y = \exp\left(a + \frac{b}{x^2}\right)$ $x \geq 0, b < 0$ , punkt przegięcia w punkcie $\left(\sqrt{-\frac{2}{3}b}, e^{a-\frac{3}{2}}\right)$ $\lim_{x \rightarrow \infty} y = e^a$	4.6 $a = 3$ $b = -40$
5	logistyczna [90] $y = \frac{a}{1 + b \cdot e^{-cx}}$ $a > 0, b > 0, c > 0$ punkt przegięcia w punkcie $\left(\frac{\ln b}{c}, \frac{a}{2}\right)$ $\lim_{x \rightarrow \infty} y = a$	4.6 $a = 1$ $b = 50$ $c = 0,1$
6	uogólniona logistyczna [86] $y = d + \frac{a - d}{1 + e^{-cx}}$ $c > 0, b > 1, 0 \leq d < a$ punkt przegięcia w punkcie $\left(\frac{\ln b}{c}, d + \frac{a}{2}\right)$ $\lim_{x \rightarrow \infty} y = d + a$	4.6 $d = 0,5$ $a = 1$ $b = 10$ $c = 0,1$
7	krzywa Pearla [90] $y = \frac{a}{1 + b \cdot e^{-x}}$ , $a > 0, b > 1$	4.6 $a = 10$ $b = 100$
8	krzywa Gompertza [86] $y = a \cdot b^{c^x}$ $a > 0, 0 < b < 1, 0 < c < 1$ punkt przegięcia w punkcie $\left(\frac{\ln(-\ln b)}{\ln c}, \frac{a}{e}\right)$	4.6 $a = 3$ $b = 0,05$ $c = 0,9$



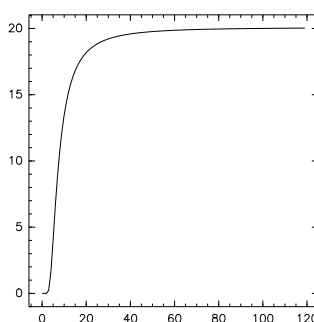
(a) wykładnicza  
eksponencjalna 1



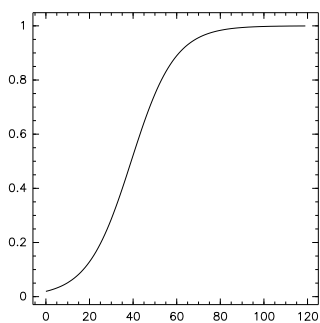
(b) tangens hiperboliczny



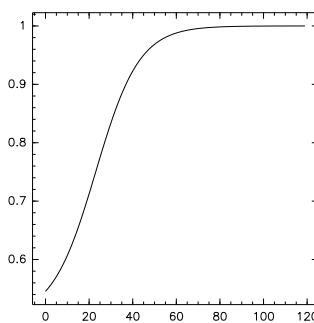
(c) wykładnicza  
eksponencjalna 2



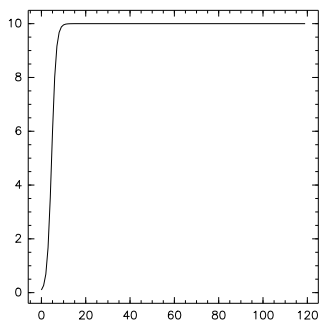
(d) wykładnicza  
eksponencjalna 3



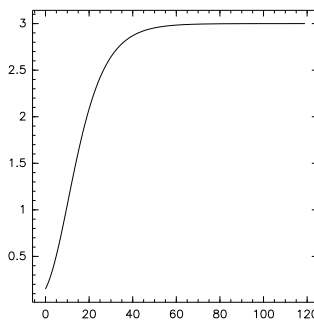
(e) logistyczna



(f) uogólniona logistyczna



(g) Pearla



(h) Gompertza

Rysunek 4.6. Wybrane, powszechnie stosowane funkcje  $S$

roślinne i zwierzęce. Zgodnie z tym prawem po pierwszej fazie umiarkowanego wzrostu przyrost w jakim organizm rośnie nasila się aż do chwili w której następuje jego spowolnienie prowadzące po pewnym czasie do całkowitego zahamowania dalszego wzrostu. W ustalonych warunkach prawo to zachowane jest zarówno dla pojedynczych organizmów jak i przyrostu całej populacji. Warunek izolacji, konieczny dla modelowego przebiegu opisywanych zjawisk zapobiegł jednak powstaniu uniwersalnego prawa rozwoju populacji.[86]

Krzywa logistyczna modeluje poprawnie również eksploatację ograniczonych zasobów naturalnych. Wśród prac wyróżnić należy prognozę spadku wydobywania ropy dokonaną przez geologa M. K. Hubberta. Pomimo, iż nie był on jedynym w tym czasie, który stosował ten model, to jemu udało się poprawnie ją skalibrować otrzymując wysoki poziom adekwatności do obserwowanego w rzeczywistości poziomu wydobywania ropy naftowej. [63]

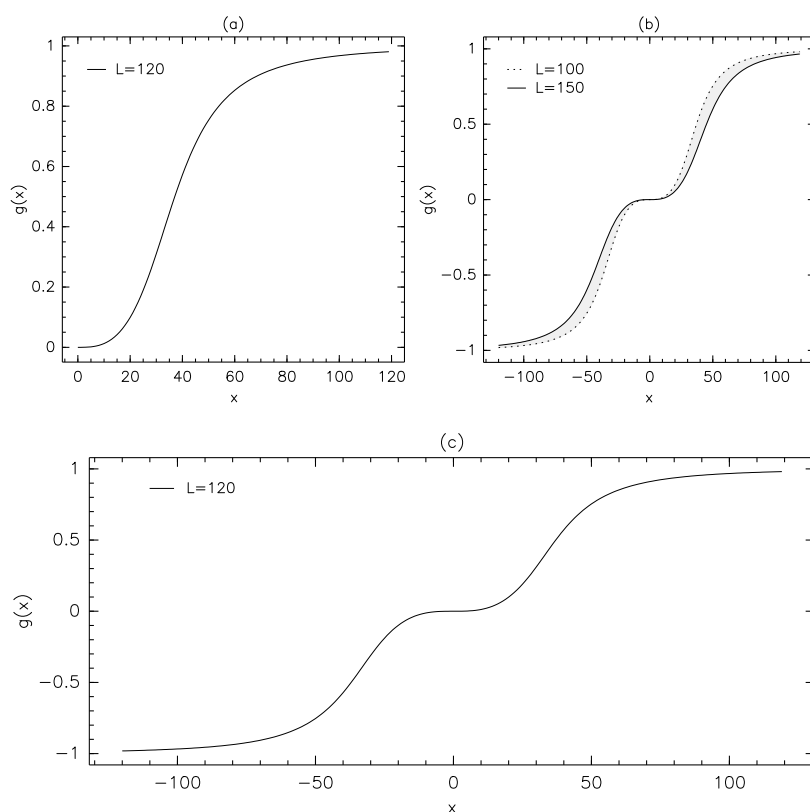
Popularność krzywa logistyczna zawdzięcza głównie swej pochodnej nazywanej czasami *pryszczem Hubberta*. Wykres pochodnej krzywej logistycznej ma kształt dzwonu (co przypomina wcześniejszy warunek podany zarówno dla funkcji  $g(x)$  jak i  $h(y)$  - por. rys. 4.1(d) oraz 4.4(c)). Wykres ten rozpoczyna się w pobliżu zera, następnie rośnie do wartości maksymalnej w punkcie przegięcia i maleje z powrotem do zera. Jest przy tym umiarkowanie asymetryczny - co nie jest sprzeczne z przytoczonymi wcześniej warunkami dla funkcji  $h(y)$  i  $g(x)$ , gdy uwzględnione zostanie to, iż opisane wcześniej funkcje  $k(x)$  (rys. 4.1) oraz  $m(z)$  (rys. 4.4) charakteryzuje wysoki poziom uogólnienia, przez co mają głównie charakter poglądowy i nie definiują precyzyjnie całego zbioru opisywanych w pracy zjawisk.

Krzywą logistyczną wykorzystywano również do modelowania zjawisk gospodarczych i ekonomicznych co odnotować można m.in. pracami Kunetza cytując wczesne prace amerykańskie. Badania nad prawem logistycznym w gospodarce prowadzono również w latach dwudziestych XX w. w ZSRR. W Polsce tematykę tą podjęli m.in. Misiaszek i Mynarski w latach sześćdziesiątych XX w. [86]

Szeroki wachlarz zastosowań sprzyjał powstawaniu wielu wariantów funkcji logistycznej w postaci krzywych  $S$  począwszy od Pearla. Innymi stosowanymi powszechnie wariantami funkcji  $S$  są krzywa von Bertalanffy'ego oraz krzywa Gomperta. Wszystkie zjawiska modelowane krzywymi  $S$  posiadają wspólną cechę: wyróżnić w nich można czynnik rozprędu odpowiadający za coraz to większy przyrost oraz hamowania odpowiedzialny za jego spadek do całkowitego zaniku i ustabilizowanie się wartości funkcji.

Rozpoznane funkcje będące *krzywymi w kształcie S* zostały przyrównane do zidentyfikowanych i opisanych wcześniej własności poszukiwanych funkcji  $g(x)$  i  $h(y)$ . Następnie wybrano kilka przykładów systemów transportu sztywnotorowego (sieć tramwajowa, układnica, robot mobilny drugiej generacji) i symulowano dla nich uszkodzenie odcinka sieci. Dla otrzymanych przypadków zastosowano wszystkie rozpoznane *funkcje w*





Rysunek 4.7. Funkcja kary wynikającej ze zmiany długości trasy spowodowanej objazdem

*kształcie S*. W kolejnym kroku modyfikowano postać wykorzystanych funkcji starając się otrzymać oczekiwaną charakterystykę ich przebiegu. Otrzymane wyniki pozwoliły odrzucić funkcje nie spełniające wymagań i nie zachowujące oczekiwanych własności oraz wybrać najbardziej adekwatne formuły dla poszukiwanych funkcji  $g(x)$  i  $h(y)$ , które zostały przedstawione w dalszej części rozdziału.

Szukana krzywa dla określenia funkcji kary  $g(x)$  określona jest wzorem:

$$g_k(x) = \arctan \left( a \cdot \frac{x^3}{L^b} \right) \cdot s \quad , \quad (4.6)$$

gdzie:  $x$  - zmiana długości trasy;  $L$  - długość linii normalnej (planowej);  $s$  - współczynnik skalujący funkcji  $g(x)$  do wspólnej maksymalnej wartości z  $h(y)$ ;  $a, b$  - współczynniki kształtu.

Po skalibrowaniu dla przypadku miejskiego transportu tramwajowego i sprowadzeniu do wspólnej wartości  $b_1 = b_2 = 1$  funkcji  $g(x)$  i  $h(y)$  krzywa ta przyjmuje postać:

$$g_k(x) = \arctan \left( 5 \cdot \frac{x^3}{L^{2,6}} \right) \cdot \frac{2}{\pi} \quad . \quad (4.7)$$

Funkcja  $g(x)$  zgodnie ze wcześniejszymi uwagami występuje w trzech wariantach:

1. określona na dwóch przedziałach (rys. 4.5a,4.7a)

$$g(x) = \begin{cases} 0, & \text{dla } x \in (-\infty, 0) \\ \arctan\left(a \cdot \frac{x^3}{L^b}\right) \cdot s, & \text{dla } x \in \langle 0, +\infty \rangle \end{cases} \quad (4.8)$$

Jest to najczęściej spotykany przypadek. Ocena jest niewrażliwa na skrócenie drogi. Założeniem dla tego przypadku jest poprawne wyznaczenie trasy planowej. Polepszenie warunków ruchu w układzie torowym wynikające ze skrócenia trasy linii jest mniej istotne w porównaniu do ingerencji w wyznaczone trasy stałe, a przez to w realizowane procesy transportowe na tych liniach. Przykładem jest transport tramwajowy komunikacji miejskiej.

2. określona na jednym przedziale (rys. 4.5b,4.7c)

$$g(x) = \arctan\left(a \cdot \frac{x^3}{L^b}\right) \cdot s \quad (4.9)$$

Przypadek spotykany często w transporcie bliskim na liniach o tylko dwóch obsługiwanych punktach. Transport na linii realizowany jest wtedy w cyklach prostych. Skrócenie drogi względem trasy planowej powoduje polepszenie warunków ruchu w sieci, natomiast nie wpływa na utratę jakości procesów transportowych realizowanych na liniach. Przykładem są układnice w magazynach wysokiego składowania.

3. określona na trzech przedziałach (rys. 4.5c)

$$g(x) = \begin{cases} \arctan\left(a \cdot \frac{(x-e)^3}{L^b}\right) \cdot s, & \text{dla } x \in (-\infty, e) \\ 0, & \text{dla } x \in (e, 0) \\ \arctan\left(a \cdot \frac{x^3}{L^b}\right) \cdot s, & \text{dla } x \in \langle 0, +\infty \rangle \end{cases} \quad (4.10)$$

Wariant mieszany wcześniej opisanych dwóch podstawowych typów. Dla relatywnie małego skrócenia drogi wynikającego z realizacji objazdu na trasie stałej występuje brak wrażliwości funkcji kary. Jeśli jednak osiągnięty zostanie punkt  $e$  wartości skrócenia trasy to w odpowiednich, opisanych uprzednio warunkach następuje znoszenie wartości kary całkowitej spowodowane polepszeniem warunków ruchu w całym układzie torowym.

Wszystkie trzy opisywane warianty funkcji kary  $g(x)$  wykorzystają do opisu tą samą postać wzoru na krzywą  $S$ .

Specyficzną własnością funkcji kary  $g(x)$  jest pożądana wrażliwość na długość trasy. Inne są skutki skrócenia linii długiej i krótkiej o tą samą wartość bezwzględną. Nie można

wprost wnioskować iż linie dłuższe są bardziej istotne w sieci i przez to doprowadzić do przeszacowania kary za zmiany ich długości tras. Implikuje to dwojakiego rodzaju konsekwencje:

1. Linie długie otrzymają mniejszą karę (zarówno dodatnią jak i ujemną) za zmianę długości trasy niż linie krótkie przy tej samej wartości bezwzględnej wydłużenia/skrócenia trasy (rys.4.7b).

Takie postępowanie uzasadnione jest m.in. przez to, że:

- wyznaczenie linii w sieci świadczy o tym że jest ona istotna, nie ma linii o pomijalnie małym znaczeniu, a używanie wartości bezwzględnych w sieciach o dużych różnicach w długości linii prowadzi właśnie do takich wniosków,
- różnice w znaczeniu linii (jej udział w całości pracy realizowanej w sieci) dla całej sieci analizowane są na wyższym poziomie gdy dane agregowane są dla całej sieci (pomimo tego, że każda wyznaczona linia jest istotna to te linie, które przeprowadzone są przez duży obszar danej sieci są na ogół bardziej istotne dla zarządzania i organizacji ruchu w sieci),

i biorąc to pod uwagę ocena opierać się powinna na względnej zmianie długości trasy w ocenie pojedynczej linii.

2. Wrażliwość funkcji  $g(x)$  na długość linii należy uwzględnić w procesie oceny.

Drugi rodzaj konsekwencji wymaga szerszego wyjaśnienia. Podatność na uwzględnienie długości poszczególnych linii w wartości funkcji powoduje iż utrudnione jest ich porównanie a przez to interpretacja wyników może być błędna. Pamiętać należy iż waga linii uwzględniana jest dopiero w chwili złożenia funkcji  $f(x, y)$  z funkcji  $g(x)$  oraz  $h(y)$ .

Aby zapewnić porównywalność linii w obrębie jednej sieci oraz sieci różnych rozmiarów między sobą należy:

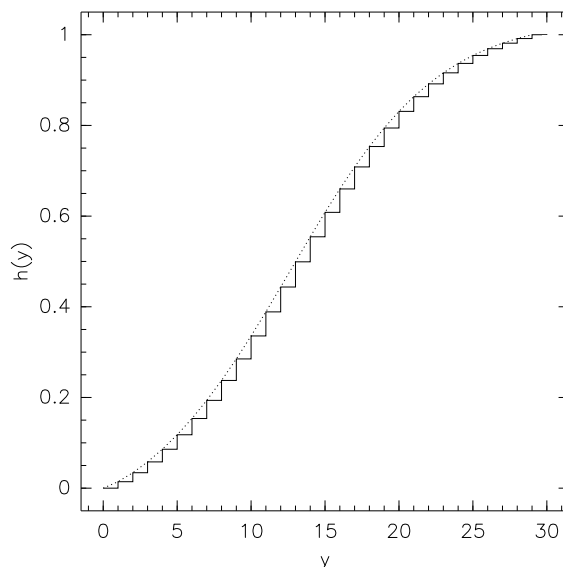
- wyznaczyć średnią długość linii w sieci,
- przyjmując, iż średnia długość linii w sieci wynosi stałą wartość  $r$ ,
- przeskalować długości wszystkich linii sieci względem wartości  $r$ :

$$a = r \cdot \frac{d}{sr} \quad (4.11)$$

gdzie:  $a$  – względna długość linii,  $r$  – przyjęta stała,  $d$  – bezwzględna długość linii,  $sr$  – średnia długość linii w sieci.

Skalowanie linii odbywa się niezależnie dla każdej sieci. Jeśli porównywane są dwie sieci sztywnotorowe o różnej wielkości występować będą dwie średnie długości linii lecz jedna wspólna wartość  $r$ .

Przeprowadzając symulacje dla różnych wartości  $r$  w przypadku funkcji (4.8) (4.9) (4.10) zauważono, że funkcja  $g(x)$  przyjmuje przebieg najbardziej zbliżony do opisanych wcześniej oczekiwanych własności oraz zachowuje się najbardziej adekwatnie do charakterystycznych przypadków systemów sztywnotorowych (m.in. sieć tramwajowa, układnica, robot



Rysunek 4.8. Funkcja kary  $h(y)$  wynikającej z braku obsługi punktów nadania/odbioru w sieci dla linii z 30 obsługiwanymi punktami sieci

mobilny drugiej generacji) gdy  $r \in \langle 90, 150 \rangle$ . Wartość  $r = 120$  jest przy tym najczęściej najbardziej odpowiednia dla większości analizowanych przypadków.

Funkcja  $h(y)$  (rys. 4.8) jest wariantem funkcji logistycznej i określona jest równaniem:

$$h(y) = \left( \frac{1}{1 + z \cdot e^{w \cdot (\frac{y}{P})^c}} - f \right) \cdot u \quad (4.12)$$

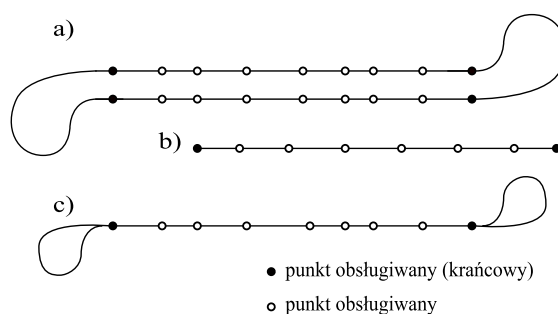
gdzie:  $y$  - liczba opuszczonych punktów nadania/odbioru linii;  $P$  - liczba obsługiwanego punktów nadania/odbioru linii;  $c, w, z$  - współczynniki kształtu;  $f$  - współczynnik normujący, korygujący poziom nasycenia procesu wzrostu funkcji logistycznej do wartości 0;  $u$  - współczynnik normujący, korygujący wartość maksymalną funkcji do wartości 1.

Po skalibrowaniu dla przypadku miejskiego transportu tramwajowego i sprowadzeniu do wspólnej wartości  $b_1 = b_2 = 1$  funkcji  $g(x)$  i  $h(y)$  funkcja (4.12) przyjmuje postać:

$$h(y) = \left( \frac{1}{1 + 6 \cdot e^{-5,5 \cdot (\frac{y}{P})^{1,2}}} - \frac{1}{7} \right) \cdot 1,2001789236822665 \quad (4.13)$$

Wartość współczynnika  $u$  dobrana jest z dokładnością zgodną z dokładnością przyjętej metody numerycznej. Przyjęta w tym przypadku dokładność dostosowana jest do użytej biblioteki interpretera języka Python. Biorąc pod uwagę wartości jakie przyjmuje funkcja  $h(y)$  przyjęte ograniczenie dokładności nie wpływa na poprawność otrzymanych wyników.

Funkcja  $h(y)$  jest funkcją dyskretną, zgodnie z założeniami (4.1) określoną na zbiorze liczb całkowitych ( $y \in \mathcal{Z}$ ). Porównując przebieg funkcji  $g(x)$  z funkcją  $h(y)$  druga z nich



Rysunek 4.9. Określenie interpretacji obsługiwanych punktów krańcowych trasy w przypadku funkcji kary  $h(y)$

charakteryzuje się bardziej równomiernym przyrostem wartości krańcowych. Oznacza to, iż swą postacią bardziej zbliżona jest do funkcji liniowej.

Dla wyznaczenia poprawnej wartości funkcji kary  $h(y)$  rozstrzygnąć należy dwie kwestie (rys. 4.9):

- określenie kryterium identyfikacji linii,
- ustalenie sposobu naliczania punktów nadania/odbioru na linii oraz interpretacji tej wielkości,

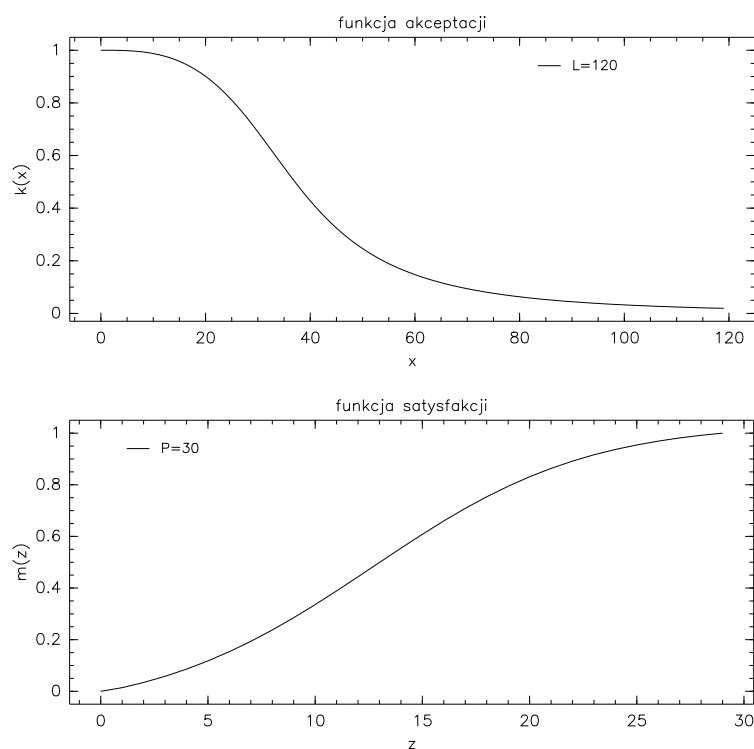
w procesie oceny sieci.

Aby wyznaczyć linię w sieci sztywnotorowej konieczne są co najmniej dwa obsługiwane punkty nadania/odbioru. W przypadku rys. 4.9a występują dwie linie, dla 4.9b wyznaczyć można jedną linię lub dwie linie o ruchu w dwóch kierunkach, zaś dla 4.9c określona może być zarówno jedna jak i dwie linie w zależności od tego czy przyjęty zostanie ruch w obydwu kierunkach czy też drugi kierunek ruchu oznaczony będzie jako wyłącznie powrotny. Punkty inne niż krańcowe są opcjonalne dla danej linii i nie są obligatoryjne dla jej identyfikacji. Jeśli występuje tylko jeden punkt krańcowy linii to we wszystkich przypadkach należy uznać tą linię za niezdatną przyznając karę zbliżoną do poziomu charakterystycznego dla zawieszenia lub likwidacji linii (dobrana funkcja zapewnia tą własność oceny). Połączenie tylko dwóch punktów krańcowych osobnych linii (rys. 4.9a) nie może być uznane za linię.

W przypadku gdy na linii planowej występują tylko dwa punkty nadania/odbioru (jak w przypadku układnic regałowych) występuje wyjątek modelu. Prowadzi to bowiem do sytuacji gdzie możliwa kara przyjmować powinna albo wartość maksymalną przyjętą dla zawieszenia lub likwidacji linii albo brak jest kary w zależności od tego czy pojazd osiąga punkt docelowy linii planowej.

Ruch może odbywać się zarówno wahadłowo jak i w jednym kierunku przy pomocy pętli na końcach linii.

Z powyższym powiązane jest zagadnienie naliczania punktów nadania/odbioru na li-

Rysunek 4.10. Wtórne funkcje satysfakcji  $m(z)$  i akceptacji  $k(x)$ 

nii. Zgodnie z wykresem funkcji  $h(y)$  (rys. 4.8) rozstrzygnąć należy sposób postępowania z punktami krańcowymi linii. W przypadku linii o dużej ilości występujących punktów nadania/odbioru oraz względnie niskim poziomie punktów wyłączonych interpretacja wyników jest jednoznaczna. Jeśli natomiast na linii występuje niska liczba planowych punktów nadania/odbioru (w skrajnym przypadku dwa) należy przyjąć jednoznaczną interpretację opuszczenia punktów krańcowych linii zastępczej (objazdu). Jeśli pozostanie na danej linii jeden punkt z dowolnie długim odcinkiem toru lub pętlą połączoną ze sprawną lub nie linią dla przeciwnego kierunku ruchu to linię tą uznać należy za niesprawną. Zatem w przypadku skrajnym linii planowej o dwóch punktach nadania/odbioru przyznać należy, przy wyłączeniu jednego z punktów, arbitralnie bez obliczeń wartość kary odpowiednią dla wyłączenia lub likwidacji linii. Punkty krańcowe uwzględnia się w procedurze ustalania punktów obsługiwanych przez linię. Punkty te, jak wynika to z rys. 4.8 nie mają jednak wartościowo relatywnie dużego znaczenia poza przypadkiem linii o skrajnie niskiej liczbie obsługiwanych punktów.

Zidentyfikowane funkcje kary  $g(x)$  oraz  $h(y)$  wyprowadzono ideowo z funkcji akceptacji oraz satysfakcji. Jeśli przyjęta procedura postępowania wyznaczenia funkcji kary jest poprawna to postępowanie odwrotne doprowadzić powinno do otrzymania wiarygodnych funkcji akceptacji i satysfakcji.

Przedstawione na ilustracji 4.10 funkcje uzyskano ze wzorów 4.7 oraz 4.13. Przebiegi

wyznaczonych wtórnych funkcji  $k(x)$  oraz  $m(z)$  są wiarygodne, co pokazano w dalszej części pracy.

Określenie funkcji  $g(x)$  oraz  $h(y)$  pozwala na zdefiniowanie trzech funkcji  $f(x, y)$  o własnościach i interpretacji zgodnych ze wcześniejszym opisem jej funkcji składowych (4.8, 4.9, 4.10, 4.12):

– wariant A

$$f(x, y) = \begin{cases} \left( \frac{1}{1 + z \cdot e^{w \cdot (\frac{y}{P})^c}} - f \right) \cdot u, & \text{dla } x \in (-\infty, 0) \\ \arctan \left( a \cdot \frac{x^3}{L^b} \right) \cdot s + \left( \frac{1}{1 + z \cdot e^{w \cdot (\frac{y}{P})^c}} - f \right) \cdot u, & \text{dla } x \in \langle 0, +\infty \rangle \end{cases} \quad (4.14)$$

– wariant B

$$f(x, y) = \arctan \left( a \cdot \frac{x^3}{L^b} \right) \cdot s + \left( \frac{1}{1 + z \cdot e^{w \cdot (\frac{y}{P})^c}} - f \right) \cdot u \quad (4.15)$$

– wariant C

$$f(x, y) = \begin{cases} \arctan \left( a \cdot \frac{(x - e)^3}{L^b} \right) \cdot s + \left( \frac{1}{1 + z \cdot e^{w \cdot (\frac{y}{P})^c}} - f \right) \cdot u, & \text{dla } x \in (-\infty, e) \\ \left( \frac{1}{1 + z \cdot e^{w \cdot (\frac{y}{P})^c}} - f \right) \cdot u, & \text{dla } x \in (e, 0) \\ \arctan \left( a \cdot \frac{x^3}{L^b} \right) \cdot s + \left( \frac{1}{1 + z \cdot e^{w \cdot (\frac{y}{P})^c}} - f \right) \cdot u, & \text{dla } x \in \langle 0, +\infty \rangle \end{cases} \quad (4.16)$$

gdzie:  $x$  - zmiana długości trasy;  $L$  - długość linii normalnej (planowej);  $s$  - współczynnik skalujący funkcji  $g(x)$  do wspólnej maksymalnej wartości z  $h(y)$ ;  $a, b, c, w, z$  - współczynniki kształtu;  $y$  - liczba opuszczonych punktów nadania/odbioru na linii;  $P$  - liczba obsługiwanych punktów nadania/odbioru na linii;  $f$  - współczynnik korygujący poziom nasycenia procesu wzrostu do wartości 0;  $u$  - współczynnik korygujący wartość maksymalną funkcji na określonym przez liczbę przystanków przedziale do wartości 1.

Globalna ocena efektywności sieci sztywnotorowej wyznaczana w danym punkcie na osi czasu uwzględnia znaczenie danej linii w jej ocenie. Jej wartość determinowana jest poziomem kary całkowitej ( $f(x, y)$ ) wynikającej z realizacji objazdu na trasie planowej i korygowana jest przez wagi uwzględniające znaczenie poszczególnych linii w sieci:

$$E_c = 1 - \sum_{i=1}^n \left( \frac{L_i \cdot v_i}{\sum_{j=1}^k (L_j \cdot v_j)} \cdot \frac{F_i}{2} \right), \quad (4.17)$$

gdzie:  $k$  - liczba linii w sieci;  $n$  - liczba linii na których w elementarnym przedziale czasu nastąpiło wyłączenie odcinka;  $v_i$  - liczba przemieszczonych pasażerów / jednostek / masy

na linii  $i$  w elementarnym przedziale czasu;  $v_j$  - liczba przemieszczonych pasażerów / jednostek / masy na linii  $j$  w elementarnym przedziale czasu;  $L_i$  - długość  $i$ -tej linii;  $L_j$  - długość  $j$ -tej linii;  $F_i$  - wartość funkcji  $f(x, y)$  dla  $i$ -tej linii w elementarnym przedziale czasu.

$E_c$  reprezentuje stan sieci sztywnotorowej w danej chwili. Znaczenie danej linii określa udział tej linii w pracy przewozowej całej ocenianej sieci sztywnotorowej. Wyrażenie  $(F_i/2)$  normuje wartość kary  $F$  do przedziału  $\langle 0, 1 \rangle$ <sup>4</sup>.

Ocena globalna efektywności ( $E_G$ ) ma nie tylko umożliwiać porównywanie chwilowych stanów sieci transportowych ale również pozwalać na ich porównanie w określonym przedziale czasu. Aby uniknąć iteracyjnego liczenia wartości  $E_G$  dla danego przedziału czasowego stosuje się wagowe uwzględnienie czasu trwania stanu sieci w całym rozpatrywanym okresie:

$$E_G = \sum_{q=1}^m \left( \frac{t_u}{t_b} \cdot E_{cq} \right) , \quad (4.18)$$

gdzie:  $E_G$  - globalna ocena efektywności eksploatacji;  $m$  - liczba okresów elementarnych na które podzielono czas badania;  $t_u$  - ilość elementarnych przedziałów trwania  $q$ -ego stanu sieci;  $t_b$  - ilość elementarnych przedziałów trwania badania;  $E_{cq}$  - efektywność sieci  $E_c$  w  $q$ -tym stanie.

Czas dzielony jest na jednostki elementarne. Jednostką elementarną dla wskaźnika efektywności infrastruktury jest krok czasowy przyjęty w badaniu czyli jednostka czasu na jaką podzielono okres badania (np. godzina lub dzień). Zmiany w sieci rejestrowane są z taką właśnie dokładnością. Wyznaczenie elementarnej jednostki czasu nastąpić musi na samym początku prowadzenia badań przed określaniem kar poszczególnych linii, gdyż przyjęty podział czasu może mieć wpływ na końcowy wynik.

## 4.2. Lokalna ocena efektywności sieci sztywnotorowej

Lokalna ocena efektywności eksploatacji systemów sztywnotorowych przedstawia efektywność zgodnie z jej normatywnym ujęciem. Normatywne ujęcie lokalnej oceny efektywności sieci sztywnotorowej zgodnie ze swą definicją opisuje charakterystykę obiektów technicznych systemu transportowego, w tym w szczególności jego infrastruktury.

Lokalna ocena efektywności odnosi się do konkretnej sieci sztywnotorowej i jej zastosowanie ogranicza się do niej. Nie powinno się z pomocą tej oceny, tak jak było to w przypadku oceny globalnej, porównywać różnych sieci między sobą. Ocena ta jest przeznaczona do analiz krótkookresowych, opisuje stan systemu w danej chwili i nie jest właściwe

<sup>4</sup> Poziom kary  $F$  zawiera się w przedziale  $\langle 0, 2 \rangle$ . Jej wartość nie korygowano na etapie wyznaczania składowych kary aby interpretację funkcji  $g(x)$  i  $h(y)$  uczynić bardziej naturalną.



opisywanie nią przedziałów czasu. Głównym zastosowaniem lokalnej oceny efektywności eksploatacji jest podejmowanie decyzji dotyczących modernizacji topologii sieci oraz poprawy parametrów eksploatacyjnych poszczególnych odcinków międzywęzłowych.

Lokalna ocena efektywności, pomimo tego że jest uzupełnieniem oceny globalnej opisanej wcześniej, jest zasadniczo różna od podejścia globalnego zarówno co do definicji, z której się wywodzi, jak i zastosowania.

Użycie globalnego podejścia do podejmowania decyzji o poszczególnych obszarach sieci czy też jej topologii prowadzić może, ze względu na dążenie do minimalizacji funkcji kary do nadmiernego i nieuzasadnionego rozbudowania sieci lub przeciwnie, do jej stopniowego zaniku. Globalne podejście nie jest przewidziane do tego rodzaju zastosowań. Globalne ujęcie efektywności sieci sztywnotorowej służy bowiem głównie całościowej ocenie infrastruktury pod kątem organizacji ruchu w danych warunkach otoczenia, przyjmując za perspektywę oceny sztywnotorowy charakter systemu. Lokalna ocena efektywności eksploatacji wyznacza ramy dopuszczalnych scenariuszy rozwiązań dla oceny globalnej w których odbywać się może minimalizacja wartości funkcji kary oceny globalnej.

Ocena lokalna systemu sztywnotorowego określana jest przez trzy główne wielkości:

1. parametr określający stan eksploatacyjny (zdatny lub niezdatny),
2. wykorzystanie potencjału odcinka przez linię transportową,
3. udział w rezerwacjach,

charakteryzujące dany odcinek.

Ocenę efektywności lokalnej linii dokonuje się poprzez agregację wyników jej odcinków składowych.

Za alternatywną i niezależną linię przyjmuje się każde unikalne połączenie dwóch, tych samych krańcowych punktów nadania/odbioru co w przypadku rozpatrywanej trasy planowej. Jeśli zatem dla połączenia dwóch punktów sieci wyznaczyć można  $n$  alternatywnych tras (w tym jedna z nich jest planowa) to wyłączenie pojedynczego odcinka spowoduje, iż zdatnych jest  $n - m$  linii alternatywnych ( $m$  jest liczbą tras prowadzących przez wyłączony odcinek). Trasy te opisywane są niezależnie poprzez wskaźniki efektywności lokalnej i globalnej.

Ad. 1 Stan odcinka w lokalnej ocenie efektywności systemów sztywnotorowych.

Rozpatrywane zagadnienia organizacji ruchu oraz zapewnienie elastyczności infrastruktury dla prowadzenia wyłączeń odcinków międzywęzłowych związane jest, biorąc pod uwagę eksploatację tych systemów, z planowymi remontami lub zdarzeniami incydentalnymi będącymi powodem wyłączeń poszczególnych elementów sieci.

Lokalna ocena efektywności determinowana jest zatem poprzez prawdopodobieństwo znajdowania się w stanie zdatności poszczególnych elementów tego systemu.

System ten określony jest przez dwa rodzaje elementów: węzły oraz odcinki międzywę-

złowe. Przenosząc za Dudkiem [21] charakterystykę niezawodnościową węzłów na odcinki międzywęzłowe otrzymuje się system o wysokim stopniu jednorodności technicznej elementów.<sup>5</sup> Nie oznacza to jednorodności charakterystyk eksploatacyjnych poszczególnych elementów sieci lecz relatywne podobieństwo konstrukcyjne.

Analizowane sieci sztywnotorowe są systemami dwustanowymi przez co każdy ich element może znajdować się w stanie zdatności lub niezdatności. Zgodnie z tym założeniem modelu za element zdatny uważa się ten odcinek międzywęzłowy (zgodnie z wcześniejszymi uwagami obejmujący również przylegający węzeł sieci) przez który można prowadzić ruch (jest on drożny). Brak możliwości prowadzenia ruchu po danym odcinku spowodowany planowymi remontami lub zdarzeniami incydentalnymi (wypadki, lokalne uszkodzenia torowiska, itp.) decyduje o przejściu danego elementu infrastruktury sieci w stan niezdatności.

W danej chwili parametr określający stan danego odcinka przyjmuje wartość 1 (zdatny) lub 0 (niezdatny). Przyjęcie binarnej wartości parametru określającego stan jest oczywiście pewnym modelowym uproszczeniem. Pozwala ono na określenie zbioru rozwiązań (ścieżek zdatności) połączenia dwóch punktów krańcowych linii oraz linii, których zdatność jest zależna od danego odcinka (cięć).

Analizie podlega cała sieć a w centrum uwagi znajduje się jej topologia, której własności stanowią wyróżnik sieci sztywnotorowej. Analiza taka, prowadzona przez pryzmat całej sieci i przy znacznym uproszczeniu nadal pozwala na wyznaczenie tych odcinków w sieci, które powinny być szczegółowo zbadane lub monitorowane. Umożliwia również ocenę modernizacji sieci połączonej ze zmianą topologii.

Innym, bardziej precyzyjnym określeniem stanu odcinka w danej chwili jest określenie gotowości poprzez oszacowanie prawdopodobieństwa przebywania w stanie zdatności danego elementu. Przyjęcie tego podejścia akcentuje fakt, iż pomimo wysokiego stopnia jednorodności technicznej odcinki linii transportowej mają różne parametry eksploatacyjne.

Wyznaczenie gotowości odcinka dla określenia jego stanu nie wpływa jednak na wykazanie specyficznych cech sieci sztywnotorowych. Gotowość stanowi parametr opisujący każdy obiekt techniczny nie wykazując szczególnych własności w wyróżnionej klasie systemów transportu sztywnotorowego.

Analiza gotowości odcinków, określająca dokładnie prawdopodobieństwo znajdowania się danego odcinka w stanie zdatności (w połączeniu z gotowością węzłów sieci) pozwala na połączenie lokalnej oceny efektywności sieci sztywnotorowej z prowadzonymi strategiami działań profilaktycznych.

Z tego powodu podejście to, bardziej dokładne, może być użyteczne w praktyce podejmo-

<sup>5</sup> Ułatwieniem w tym postępowaniu jest reprezentacja samego modułu, który składa się z krawędzi i bazy.

wania decyzji eksploatacyjnych. W literaturze dostępnych jest wiele modeli pozwalających opisać gotowość obiektów technicznych. Możliwe do przyjęcia rozkłady prawdopodobieństwa i strategie są szeroko opisane w literaturze niezawodności zaś przykłady podano w przeglądzie literatury. Występująca struktura szeregową jest jedną z podstawowych i szczegółowo zbadanych.

Z uwagi na przytoczone argumenty oraz wąskie ramy prezentowanej pracy w dalszej części stosowane będzie uproszczone podejście do określania parametru stanu odcinków międzywęzłowych ( $zdatny = 1$ ,  $niezdatny = 0$ ). Pogłębienie analizy poprzez oszacowanie prawdopodobieństwa przebywania w stanie zdatności każdego odcinka nie stanowi metodologicznej trudności a jej stosowanie uzasadnione jest dopiero w przypadku analizy strategii działań profilaktycznych.

Pomimo, że w pracy zawężono analizę koncentrując się na szczególnych własnościach sieci sztywnotorowych i w dalszym jej przebiegu nie oszacowuje się gotowości poszczególnych odcinków sieci, to rozróżnienie oraz dokładne określenie przyjętego postępowania w określaniu stanu eksploatacyjnego jest niezmiernie istotne. Binarne określenie stanu pomija bowiem wpływ długości odcinka na stan w jakim on przebywa. Podejście w którym parametr określający stan obiektu przyjmuje wartości 0 lub 1 bardziej eksponuje topologię sieci i jest bardziej odpowiedni w analizie w której rozpatruje się głównie układ połączeń w sieci.

Niezależnie od tego, czy stan odcinka określa wartość binarna, czy też prawdopodobieństwo przebywania w stanie zdatności, określanie stanu całej linii przeprowadza się w ten sam sposób. Linie sieci sztywnotorowej z uwagi na konstrukcyjne ograniczenia prowadzenia pojazdu na odcinkach i w węzłach stanowią szeregową strukturę niezawodnościową. Wykorzystując fakt, że linia transportowa stanowi niejednorodną szeregową strukturę niezawodnościową, można wyznaczyć wartość określającą stan eksploatacyjny linii na podstawie wiedzy o jej odcinkach składowych zgodnie ze wzorem:

$$S_{lt} = \prod_{i=1}^n G_i \quad , \quad (4.19)$$

gdzie:  $S_{lt}$  - stan linii transportowej,  $n$  - liczba odcinków linii,  $G_i$  - parametr określający stan danego odcinka (prawdopodobieństwo przebywania w stanie zdatności lub arbitralnie wyznaczona wartość binarna: 1 [zdatny] i 0 [niezdatny]).

Wartość  $S_{lt}$  określa stan linii wyznaczonej na dedykowanych dla niej odcinkach sieci (linia na wszystkich odcinkach dysponuje pełnym dostępnym ich potencjałem nie współdzieląc tych odcinków z innymi liniami) oraz w sytuacji gdy brak równie dobrych alternatywnych tras objazdów (występuje pewność co do przebiegu wyznaczonej trasy objazdu). Niezdatność pojedynczego elementu linii (wartość 0) powoduje niezdatność całości linii.

Stan odcinka linii oprócz tego że determinowany jest przez jego warunki eksploatacyjne podlega również wpływowi przyjętej organizacji ruchu w sieci transportowej. Może

się zatem zdarzyć, iż linia w pełni zdalna pod względem technicznym zostaje uznana za niezdatną z powodu organizacyjnego nie dopuszczenia ruchu na którymś z jej odcinków.

Ad. 2 Wykorzystanie potencjału odcinka przez linię transportową.

Efektywność lokalna systemu sztywnotorowego wyznaczona jedynie na podstawie stanu eksploatacyjnego linii pomija fakt, iż w sieci poszczególne odcinki współdzielone są przez różne linie. Uwzględniając warunki współdzielenia odcinków sieci pomiędzy liniami wyznaczona wartość  $S_{lt}$  powinna zostać skorygowana do poziomu wynikającego z faktycznie dostępnego potencjału przewozowego dla danej linii.

Linia traktowana jako podsystem sieci sztywnotorowej posiada pewien potencjał wynikający z określonego potencjału poszczególnych jej odcinków określonego w analizowanej perspektywie oceny normatywnej poprzez potencjały składowe wyróżnione przez Sienkiewicza (str. 16). Wyróżnione elementy składowe potencjału odcinka są w praktyce nierozdzielne w rozpatrywanych systemach i ocenione mogą być jedynie łącznie ze względu na trudności w ich wyznaczeniu. Związane jest to m.in. z faktem występowania współczynnika systemotwórczego pomiędzy nimi przez co potencjał odcinka może być różny od sumy jego poszczególnych potencjałów składowych. Oceniając potencjał linii transportowej należy uwzględnić możliwość występowania tego zjawiska. W praktyce oznacza to, że zmniejszenie potencjału jednej linii (określone np. przez ilość transportowanego towaru o pewną wartość) nie daje pewności iż można zwiększyć wartość dostępnego potencjału o tą samą wartość. Należy zatem podjąć decyzję na którym etapie analizy uwzględniony zostanie współczynnik systemotwórczy występujący pomiędzy potencjałami składowymi danego odcinka. Przyjęto, że współczynnik systemotwórczy identyfikowany jest już na poziomie pojedynczego elementu, czyli odcinka międzywęzłowego, przez co trudna do określenia wartość tego współczynnika nie wprowadza zakłóceń do formuły wyrażającej potencjał całej linii. Dzięki temu wielkości określające charakterystykę całościową odcinków można dodawać i odejmować otrzymując dokładny wynik, gdyż nieokreśloność poszczególnych czynników składowych potencjału występuje na niższym poziomie (pojedynczego elementu).

Określeniu potencjału odcinka i linii towarzyszy zawsze przepustowość. Uwzględniając zidentyfikowane w przeglądzie literatury trudności pojęciowe przyjąć można iż w ogólności przepustowość określa ilościowo liczbę jednostek transportowych (pojazdów, towaru, ludzi) które można przemieścić na danym odcinku w wyznaczonej jednostce czasu. Przepustowość determinuje górną granicę potencjału przewozowego danego odcinka. Potencjał określa rzeczywistą dostępną dla danej linii przepustowość danego odcinka. Potencjał odcinka międzywęzłowego uwikłany jest zatem w te same zależności od efektywności co jego przepustowość, zaś związki efektywności i przepustowości zostały zbadane i opisane. Szczególnie na kolei poświęca się dużo uwagi przepustowości jako głównej determinanty

strat jakości ruchu. Pamiętać należy, iż w sieciach transportowych straty jakości ruchu są nośnikiem kosztów, zgodnie z przedstawioną w przeglądzie literatury interpretacją.

Uwzględniając fakt, że przepustowość danego odcinka posiada wyższą wartość od jego potencjału, różnica między przepustowością i rzeczywistym potencjałem przyjmuje zawsze wartość dodatnią. Różnica ta stanowi straty jakości ruchu w sieci.

Wielkość ta wynika m.in. z:

- błędów występujących w realizacji procesów transportowych,
- złej organizacji ruchu,
- przyjętych założeń projektowych.

Przyjęta wartość straty przepustowości wynikająca z założeń projektowych determinowana jest skokowym przyrostem przepustowości w następstwie modernizacji infrastruktury i jako nadmiarowość planowa jest zjawiskiem normalnym o ile dostosowana jest do granicy przyrostu skokowego potrzeb transportowych.

Nie należy jednak traktować przepustowości i określonego w pracy potencjału przewozowego jako wielkości tożsame. Potencjał linii uwzględnia bowiem rodzaj prowadzonych na danej linii procesów transportowych, i określony jest dodatkowo przez rodzaj i ilość stosowanego taboru. Potencjał linii obejmuje więc większą liczbę czynników wpływających na jego wartość. W zastosowaniu praktycznym potencjał ten można określić jako liczbę pasażerów lub ilość towarów jakie zgodnie z projektem danej linii mają być przemieszczane na trasie. Potencjał linii na danym odcinku określa zatem ilość przewożonych pasażerów/towarów przez każdy punkt odcinka przewidzianą w rozkładzie jazdy, nie przekraczającą możliwych wartości określonych przez przepustowość.

Ogólnie wykorzystanie potencjału odcinka przez linię wyraża się wzorem:

$$P_{lt} = \frac{Q_L}{Q_W} \quad , \quad (4.20)$$

gdzie:  $P_{lt}$  - wskaźnik wykorzystania potencjału odcinka przez linię transportową,  $Q_L$  - potencjał przewozowy linii na odcinku,  $Q_W$  - całkowity potencjał przewozowy, który jest sumą potencjałów  $Q_L$  wszystkich linii przeprowadzonych przez odcinek, zgodnych z projektem technicznym obiektu oraz rozkładem jazdy wszystkich linii.

Wskaźnik ten opisuje zatem znaczenie danej linii na odcinku. Jest on wyrażony ilościowo lecz określa też jakościowe znaczenie danej linii na odcinku. Im większą wartość przyjmuje, z tym większym prawdopodobieństwem trasa danej linii prowadzić będzie przez ten odcinek w sytuacji, gdy dojdzie do zaburzeń ruchu i nie wszystkie dotychczasowe teoretycznie wyznaczone przez ten odcinek trasy będą mogły być realizowane.

Z uwagi na przytoczony już wysoki stopień jednorodności technicznej sieci sztywnotorowej teoretyczna przepustowość przyjmuje zbliżone wartości w całej sieci. Nie odnosi się to jednak do potencjału, który określając ilości przemieszczanych przez każdy punkt odcinka międzywęzłowego towarów i osób określa również jego istotność w sieci.

Określony wskaźnik potencjału dookreśla parametr określający stan eksploatacyjny danego odcinka opisanego wcześniej. Związane jest to z tym, że tak jak to już wcześniej zauważono, formuła 4.19 prawdziwa jest dla przypadku szczególnego, gdy przez odcinek wytyczona jest trasa tylko jednej linii. Wtedy odcinek ten dostępny jest dla środka transportu w całości w całym rozpatrywanym przedziale czasu zgodnie z maksymalną wartością potencjału osiągalną w danych warunkach. Jeśli jednak przez dany odcinek prowadzi wiele tras różnych linii to dostępność tego odcinka uzależniona jest również od znaczenia danej linii. Wskaźnik ten staje się zatem wagą parametru określającego zdatność odcinka międzywęzłowego w danej chwili.

#### Ad. 3 Udział w rezerwacjach.

Uwzględnienie udziału danej linii w dostępie do potencjału przewozowego koryguje wartość parametru określającego zdatność danego odcinka do wartości bardziej zbliżonej rzeczywistości jej poziomowi. Nadal jednak nie jest wiadome czy odcinek ten zostanie wykorzystany w wyznaczeniu przebiegu trasy linii. Duża liczba alternatywnych tras zastępczych oraz brak algorytmizacji wyznaczania objazdów odcinków wyłączonych powoduje, że nadal nie ma pewności co do wykorzystania danego odcinka.

Aby uwzględnić występującą niepewność co do przebiegu wyznaczanych objazdów wprowadzono parametr nazwany *rezerwacją odcinka* międzywęzłowego. Czynnikiem ten określa ilościowo znaczenie danego odcinka dla linii dla której jest aktualnie określany.

Aby jednoznacznie go przedstawić opisany zostanie algorytm na podstawie którego zostaje on wyznaczony.

Chcąc analizować różne scenariusze objazdów wyłączeń odcinków najpierw należy określić zbiór linii rozpiętych pomiędzy dwoma punktami krańcowymi nadania/odbioru analizowanej linii. Określa się w ten sposób wszystkie ścieżki zdatności linii zdefiniowanej tylko na dwóch punktach krańcowych. Po wyznaczeniu tego rozwiązania zliczyć można ile razy każdy z odcinków międzywęzłowych sieci sztywnotorowej uczestniczy w realizacji linii alternatywnej. Jeśli czynność ta zostanie powtórzona dla każdej zdefiniowanej w sieci linii planowej (a dokładniej ich krańcowych punktów nadania/odbioru) to dla każdego odcinka określić można w objazdach jakich linii uczestniczy oraz w jakiej mierze jest on wykorzystywany.

Dla każdego odcinka otrzymuje się więc listę linii które z niego mogą korzystać oraz liczbę określającą ile możliwych objazdów danej linii jest realizowanych przez ten odcinek.

Znaczenie tego jest takie, że w danych warunkach otoczenia, dla danego układu torowego liczby opisujące linię wskazują na trend z jakim odcinek ten może być wykorzystany poprzez poszczególne linie. Jeśli zatem wartość współczynnika rezerwacji 4.21 osiąga względnie wysokie wartości w porównaniu z innymi liniami na tym odcinku to właśnie on zostanie użyty dla tej linii. Wynika to stąd, że nie znana jest przyjęta w praktyce trasa

objazdu jaki będzie realizowany w przyszłości dla tego układu torowego. Procedura wyznaczania objazdu odcinka wyłączanego nie jest bowiem w praktyce zalgorytmizowana. Wskaźnik ten zawiera więc pośrednio również określenie niepewności przyjętego w praktyce rozwiązania względem tego, który przyjął projektant systemu przed oddaniem go do eksploatacji lub realizacji jego modernizacji.

Parametr określający udział danej linii w możliwych, dla danego układu torowego, rezerwacjach danego odcinka przez daną linię wyraża się wzorem:

$$W_{ol} = \frac{W_L}{W_W} \quad , \quad (4.21)$$

gdzie:  $W_{ol}$  - parametr określający udział danej linii w rezerwacjach odcinka,  $W_L$  - liczba tras alternatywnych linii przebiegających przez dany odcinek,  $W_W$  - liczba tras alternatywnych wszystkich linii sieci jakie można przeprowadzić przez dany odcinek.

Wskaźnik ten obrazuje zatem znaczenie, w ujęciu ilościowym, danej linii na odcinku, oraz znaczenie rozpatrywanego odcinka międzywęzłowego dla danej linii. Im większa jest jego wartość tym wyższe prawdopodobieństwo jego wykorzystanie w objeździe wyznaczonym dla danej linii.

Wskaźnik ten nie jest przy tym zależny od przepustowości, choć jego istnienie jest uzasadnione występowaniem skończonej przepustowości danego odcinka międzywęzłowego. Podaje on bowiem wielkość odnoszącą się do teoretycznie możliwych tras nie kwestionując prawidłowej ich realizacji i wykonalności w rzeczywistych warunkach.

Pomimo prostej postaci matematycznej przedstawionego parametru określającego rezerwację odcinka dla danej linii, prowadzonym obliczeniom towarzyszy duża złożoność. Wynika ona z faktu, iż dla wyznaczenia składowych wskaźnika rozwiązywane są grafy znacznych rozmiarów co prowadzi do technicznych trudności w trakcie obliczeń. Występujące trudności obliczeniowe w trakcie symulacji i obliczeń nie dyskryminują jednak ani algorytmu ani metody oceny. Przyjmowane założenia dodatkowe występujące podczas analizy nie wpływają na jakość rozwiązań a postęp w dziedzinie obliczeń numerycznych i zwiększająca się moc maszyn liczących systematycznie eliminuje występujące obecnie trudności. Szczegóły implementacji oraz przyjęty sposób uproszczeń przyjętych w trakcie obliczeń opisany został w rozdziale piątym.

Przedstawione parametry określające każdy odcinek sieci sztywnotorowej stosowane mogą być osobno tworząc mapy parametrów sieci dla przypadku danej linii transportowej lub łącznie określając zdatność danego odcinka względem określonej linii lub wyznaczając zdatność całej linii zgodnie z wyznaczoną jej trasą.

Efektywność lokalna eksploatacji linii lub pojedynczego odcinka określana łącznie przez wszystkie trzy wielkości wyrażona jest wzorem

$$E_L = \prod_{i=1}^n \left( \frac{Q_{Li}}{Q_{Wi}} \cdot \frac{W_{Li}}{W_{Wi}} \cdot G_i \right) , \quad (4.22)$$

gdzie:  $E_L$  - efektywność lokalna eksploatacji linii w sieci sztywnotorowej,  $n$  - liczba odcinków międzywęzłowych,  $G_i$  - parametr określający zdatność  $i$ -tego odcinka (uwzględniający sąsiadujący na trasie linii węzeł - zgodnie z wprowadzonym pojęciem modułu sieci sztywnotorowej) czyli zgodnie z przyjętą wcześniej terminologią:  $i$ -tego modułu sieci sztywnotorowej,  $Q_{Li}$  - potencjał przewozowy linii na  $i$ -tym odcinku,  $Q_{Wi}$  - całkowity potencjał przewozowy, który jest sumą potencjałów  $Q_L$  wszystkich linii przeprowadzonych przez  $i$ -ty odcinek,  $W_{Li}$  - liczba tras alternatywnych linii przebiegających przez dany odcinek,  $W_{Wi}$  - liczba tras alternatywnych wszystkich linii sieci jakie można przeprowadzić przez dany odcinek.

Wyznaczona efektywność lokalna eksploatacji linii wraz z uzupełniającymi informacjami o wartościach jej elementów składowych na poszczególnych odcinkach międzywęzłowych pozwala na podejmowanie decyzji o topologii sieci, wskazując na konsekwencje analizowanych wariantów przebudowy lub reorganizacji ruchu w sieci. Stanowi ona przy tym kryterium rozstrzygające przy rozpatrywaniu wariantów topologii modernizowanej sieci wynikających z analizy globalnej efektywności eksploatacji sieci sztywnotorowych.

Mapy parametrów sieci dla przypadku danej linii transportowej są ilustracjami topologii sieci z opisem odcinków przedstawiającym poszczególne składowe oceny  $S_{lt}$ ,  $P_{lt}$ ,  $W_{ol}$  obliczonymi dla konkretnego przypadku linii. Mapa taka pozwala na przestrzenną analizę danego scenariusza rozkładu jazdy i topologii sieci. Jej zastosowanie ze względu na poziom szczegółowości informacji oraz nakład pracy obliczeniowej jest mocno ograniczone a w zastosowaniach praktycznych trudne do przeprowadzenia ze względu na złożoną interpretację wyników.

Lokalna ocena efektywności eksploatacji sieci sztywnotorowej pozwala zatem na normatywną ocenę pojedynczego odcinka międzywęzłowego linii, całej linii oraz topologii sieci biorąc pod uwagę jego stan (dostępność w rozpatrywanych scenariuszach organizacji ruchu). Jest to ocena będąca modelem efektywnościowo - niezawodnościowym, przeprowadzana w danym czasie. Dokonywana jest wewnętrznie dla danej sieci i nie należy jej stosować do porównywania systemów o różnej wielkości i warunkach zewnętrznych. Stanowi uzupełnienie globalnej oceny efektywności eksploatacji systemów sztywnotorowych. Swą formą nawiązuje do metod historycznych przedstawionych w przeglądzie literatury.



### 4.3. Walidacja modelu

Minimalnym warunkiem dopuszczenia przedstawionego modelu do weryfikacji jest formalne potwierdzenie jego trafności. W tym celu przeprowadzana jest walidacja modelu, która zgodnie z normą *EN ISO 8402* jest potwierdzeniem, przez zbadanie i przedstawienie obiektywnego dowodu, że zostały spełnione wymagania dotyczące zamierzonego zastosowania

Zapewnienie adekwatności modeli tworzonych dla nowo wyodrębnionej klasy systemów, jakimi są sieci sztywnotorowe, wiąże się na ogół z przeprowadzeniem analiz wszystkich reprezentantów tej klasy. Poprzez wyróżnienie i określenie charakterystyk poszczególnych reprezentantów klasy wnioskuje się o cechach ich grupy co prowadzi do uogólnienia wniosków dla całej klasy.

Proponowany model oceny obejmuje wszystkich reprezentantów klasy. Oparty został na ich cechach wspólnych. Sformułowany jest ogólnie nie konkretyzując szczegółów interpretacji dla pojedynczego systemu. Dla tak rozbudowanego i zróżnicowanego zbioru rozwiązań technicznych nie można bowiem przeprowadzić bezpośredniego dowodu, który obejmie wszystkie systemy należące do klasy i analizuje wszystkie pojedyncze przypadki. Niemniej jednak przeprowadzone wnioskowanie musi pozwolić na formalne stwierdzenie o przydatności prezentowanego modelu do realizacji zamierzonych celów. Przydatność tą należy potwierdzić wstępnie, przed jego implementacją oraz weryfikacją w konkretnych warunkach rzeczywistego systemu. Określa się ją poprzez zbadanie klasy oraz jej przykładowych reprezentantów oraz pokazanie, że zostały spełnione wymagania dotyczące zamierzonego zastosowania a sam model umożliwia w sposób niezawodny i odtwarzalny realizację celu któremu służy. W celu udowodnienia formalnej przydatności i adekwatności modelu przeprowadzono jego walidację, rozumianą zgodnie z terminologią normy *PN-EN ISO 9000*. Walidacja prezentowanego modelu ma więc na celu sprawdzanie jego trafności.

Zgodnie z tym walidacja rozpatrywanej metody oceny jest rozstrzygnięciem tego czy może być ona zastosowana do rozwiązania analizowanego problemu. W tym celu zbadane zostały przypadki typowe dla prezentowanego zagadnienia oceny wyłączeń w sieciach sztywnotorowych oraz szczególne, które stanowią o poprawności interpretacji otrzymanych wyników.

Przeprowadzona w pracy procedura walidacji składa się z następujących etapów:

1. dla wyznaczenia globalnej efektywności eksploatacji wyszczególnieniu i sprawdzeniu podlegają przypadki:

— typowe: objazd i rozłączenie linii,

Na przykładzie objazdu sprawdza się zasadność i poprawność przyjętego kształtu funkcji  $g(x)$  oraz  $h(y)$ . Pośrednio stawia się więc również pytanie o wiarygodność

wtórnych funkcji satysfakcji i akceptacji.

Na przykładzie rozłączenia sprawdza się poprawność interpretacji modelu w przypadku skrajnie niekorzystnym dla linii, którego realizacja w warunkach rzeczywistych jest często (bez uwzględnienia proponowanego modelu) trudna do uzasadnienia.

— szczególnie: ucięcie i złączenie linii,

Sprawdzeniu podlega procedura wnioskowania zgodna z modelem dla przypadków o prostej strukturze (układzie torów) lecz złożonej logice interpretacyjnej, określonych jako istotne w prezentowanej klasie systemów.

spotykane w tych sieciach,

2. dla wyznaczenia lokalnej efektywności eksploatacji:

Prezentowany jest przypadek analizy sieci  $SD - 1$  (celowo przygotowanej do celów prezentacji modelu, o prostej strukturze układu torowego) na której przeprowadzono przykładowe obliczenia i sprawdzono poprawność wyników.

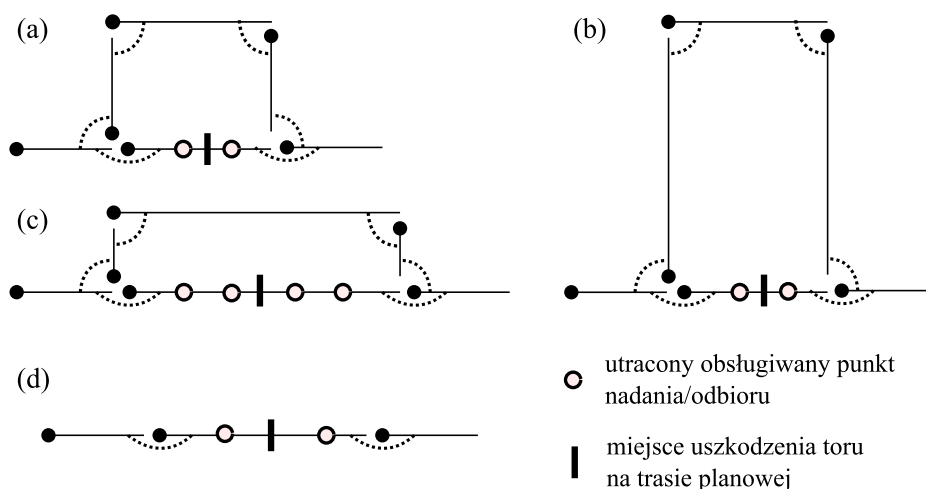
które odniesiono do rozpatrywanych w kolejnym rozdziale sieci tramwajowych.

W pierwszej kolejności walidacji poddany został model oceny globalnej efektywności eksploatacji sieci sztywnotorowej. Do typowych zagadnień rozpatrywanych w przypadku analizy wyłączeń odcinków sieci sztywnotorowej, przyjmując za perspektywę analizy efektywność globalną eksploatacji systemu, zaliczyć można objazdy oraz rozłączenia linii. W przypadku wyłączenia odcinka linii transport realizowany jest drogą zastępczą łączącą parę punktów na trasie planowej pomiędzy którymi nastąpiło zerwanie połączenia. Jeśli połączenie parę punktów trasy planowej pomiędzy którymi nastąpiła utrata łączności związane jest z poniesieniem zbyt wysokich kosztów lub nie jest możliwe z powodów technicznych, wystąpić może rozłączenie linii czyli jej podział na dwie niezależne linie. Łączność pomiędzy nowo wyznaczonymi liniami może być zachowana poprzez wykorzystanie systemów transportowych innego rodzaju lub zaniechana. Rozłączenie linii wraz z całkowitym zerwaniem łączności pomiędzy nowo wyznaczonymi liniami częściowo realizującymi planowe trasy komunikacyjne należy przy tym do sytuacji skrajnie niekorzystnej.

Objazd.

Za objazd przyjmuje się zespół działań organizacyjno-technicznych mających na celu przywrócenie ciągłości linii, której utrata nastąpiła w wyniku wyłączenia z eksploatacji fragmentu trasy na pewnym odcinku, bez zmiany środka przemieszczania oraz technologii transportu.

Typowy przykład objazdu przedstawiono na rysunku 4.11(a). W wyniku uszkodzenia toru nastąpiło przerwanie ciągłości linii. Działanie przywracające połączenie pomiędzy obsługiwanymi punktami krańcowymi linii doprowadziło do wyznaczenia nowej trasy omijającej wyłączony z eksploatacji odcinek. Konsekwencją objazdu stało się wydłużenie



Rysunek 4.11. Objazd i rozłączenie linii (Sposób zapisu zgodny z opisem budowy modelu sieci sztywnotorowej przedstawionym w rozdziale trzecim)

trasy linii oraz opuszczenie dwóch punktów nadania/odbioru znajdujących się na wyłączonym odcinku.

Założmy, że schemat objazdu przedstawiony na rys. 4.11(a) obrazuje fragment linii sieci sztywnotorowej. Linia ta według planowego rozkładu jazdy ma długość 120 jd (umownych jednostek długości<sup>6</sup>) oraz obsługuje 30 punktów nadania/odbioru rozmieszczonych na trasie. W wyniku uszkodzenia fragmentu toru wyłączony został odcinek będący pojedynczym modułem sieci sztywnotorowej o długości 20 jd oraz 2 miejscach nadania/odbioru. Objazd odbywa się trasą zastępczą o długości 30 jd.

Założmy, że jest to linia sieci tramwajowej. Założenie to jest istotne z tego względu, że systemy sztywnotorowe stanowią zbyt dużą klasę zbyt zróżnicowanych obiektów aby używać uogólnień na poziomie całej klasy. Przyjęcie sieci tramwajowej w przeprowadzanej walidacji wynika głównie z dwóch powodów. Po pierwsze, sieć tramwajowa została użyta w kolejnym rozdziale do weryfikacji modelu. Założenie to powoduje, że zachowana jest ciągłość przedstawianego wywodu myślowego oraz zgodność drugorzędnych warunków uściślających model w danym przypadku (rodzaj systemu: użyta technologia transportu, rodzaj transportowanych obiektów, itp.). Dzięki temu opisywane etapy analizy dotyczą tego samego przypadku co pomagają w zrozumieniu modelu. Po drugie, sieć tramwajowa została dobrana do weryfikacji modelu celowo. Sieci tramwajowe stanowią szczególny przypadek systemów sztywnotorowych. Są one nieregularnymi sieciami  $2r$ . Stanowią, tak jak to zostało opisane w przeglądzie literatury, reprezentację dużej części sieci sztywnotorowych

<sup>6</sup> Wprowadzenie jednostki umownej związane jest z tym, że linie systemu rzeczywistego zostają przeskalowane zgodnie z 4.11, czego powód przedstawiono w opisie modelu oceny globalnej efektywności eksploatacji systemów sztywnotorowych.

będąc podobnymi do największej liczby ich reprezentantów. W jednym przypadku łączą zagadnienia organizacyjne i techniczne występujące w systemach różnego rodzaju.

Zgodnie z przyjętymi założeniami krzywa określająca funkcję kary, opisująca skutki zmiany długości trasy, przyjmuje postać 4.7 a składowa kary opisująca konsekwencje opuszczenia obsługiwanych punktów nadania/odbioru określona jest jako 4.13. Po dobraniu wartości współczynników kształtu<sup>7</sup> do ogólnej funkcji oceny globalnej efektywności eksploatacji 4.14 odpowiedniej dla rozpatrywanego przypadku otrzymujemy funkcję kary  $f(x, y)$  dla linii sieci sztywnotorowej w postaci:

$$f(x, y) = \begin{cases} \left( \frac{1}{1 + 6 \cdot e^{-5,5 \cdot (\frac{y}{P})^{1,2}} - \frac{1}{7}} \right) \cdot u, & \text{dla } x \in (-\infty, 0) \\ \arctan \left( 5 \cdot \frac{x^3}{L^{2,6}} \right) \cdot s + \left( \frac{1}{1 + 6 \cdot e^{-5,5 \cdot (\frac{y}{P})^{1,2}} - \frac{1}{7}} \right) \cdot u, & \text{dla } x \in \langle 0, +\infty \rangle \end{cases} \quad (4.23)$$

gdzie:

$$u = 1, 2001789236822665, s = \frac{2}{\pi},$$

oraz:

$s, u$  - współczynnik skalujący funkcji;  $x$  - zmiana długości trasy;  $L$  - długość linii normalnej (planowej);  $y$  - liczba opuszczonych punktów nadania/odbioru na linii;  $P$  - liczba obsługiwanych punktów nadania/odbioru na linii.

Dla tak zdefiniowanego przypadku wartość kary określającej efektywność globalną eksploatacji zgodnie z formułą (5.1) wynosi  $F = 0,04629857^8$  (dane przyjęte do obliczenia wartości współczynnika zamieszczono w tab. 4.2/1). Wartości składowych kary naniesiono na rysunku 4.12(a) (punkt: A(10, 0.012500375)) oraz 4.12(b) (punkt: A(2, 0.033798198)).

Oznaczmy ten przypadek jako *variant A*.

Jeśli realizacja drogi zastępczej związana jest ze znacznym wydłużeniem pokonywanej trasy przy zachowaniu tej samej liczby opuszczonych punktów nadania/odbioru (rys. 4.11(b), tab. 4.2/2) wartość kary ulega zwiększeniu do wartości  $F = 0,60593753$ . Składowe kary naniesiono na rysunku 4.12(a) (punkt: B(40, 0.57213933)) oraz 4.12(b) (punkt: B(2, 0.033798198)).

Oznaczmy ten przypadek jako *variant B*.

Jeżeli w związku z realizacją objazdu wyłączzonego odcinka zwiększona zostanie liczba opuszczonych punktów nadania/odbioru na trasie przy nieznacznym zwiększeniu poko-

<sup>7</sup> Procedurę doboru wartości współczynników kształtu omówiono w rozdziale piątym.

<sup>8</sup> Na obecnym etapie analizy klasy sieci sztywnotorowej, podczas walidacji modelu oceny dla różniących się systemów będących jej reprezentantami nie można podjąć decyzji co do rzędu wielkości dokładności podawanych wyników. Ponieważ nie można wykluczyć tego, że w poszczególnych systemach wyniki różnić będą się z innym stopniem dokładności, to wyznaczenie rzędu dokładności z jakim podawane są wyniki odbywa się w trakcie implementacji modelu. Z tego powodu w bieżącym rozdziale – zarówno w ocenie globalnej jak i lokalnej efektywności eksploatacji – wyniki podaje się ograniczając do ośmiu znaczących cyfr.

Tabela 4.2. Scenariusze objazdu

Lp.	war.	rys.	$L$	$P$	$w$	$o$	$y$	$x$	$F$
1	A	4.11a	120	30	20	30	2	10	0,046298574
2	B	4.11b	120	30	20	60	2	40	0,60593753
3	C	4.11c	120	30	20	22	4	2	0,085348207

gdzie: war. - oznaczenie scenariusza objazdu (wariantu objazdu);  $L$  - długość linii normalnej (planowej);  $P$  - liczba punktów nadania/odbioru linii normalnej (planowej);  $w$  - długość odcinka wyłączanego;  $o$  - długość objazdu;  $y$  - liczba opuszczonych punktów nadania/odbioru na linii;  $x$  - zmiana długości trasy;  $F$  - kara określająca efektywność globalną linii.

nywanej przez środek transportu drogi (rys. 4.11(c), tab. 4.2/3) to wartość kary wyniesie  $F = 0,085348207$ . Wartości składowe kary naniesiono na rysunku 4.12(a) (punkt: C(2, 0.00010001585)) oraz 4.12(b) (punkt: C(4, 0.085248191)).

Oznaczmy ten przypadek jako *wariant C*.

W przypadku *wariantu A* przy względnie niedużym wydłużeniu trasy spowodowanym objazdem ( $\sim 8\%$  długości linii planowej) oraz małej liczbie opuszczonych punktów nadania/odbioru ( $\sim 6\%$  liczby trasy planowej) wartość kary przyjmuje relatywnie niski poziom.

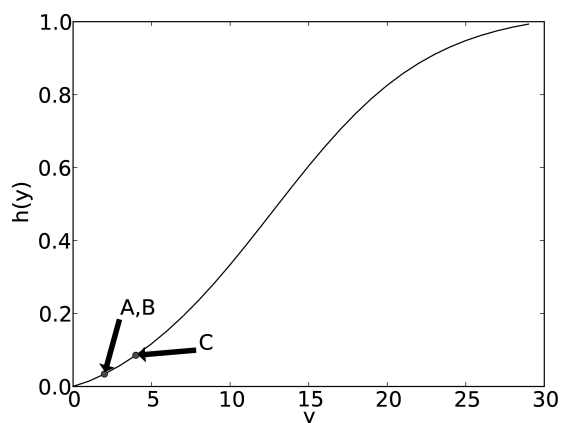
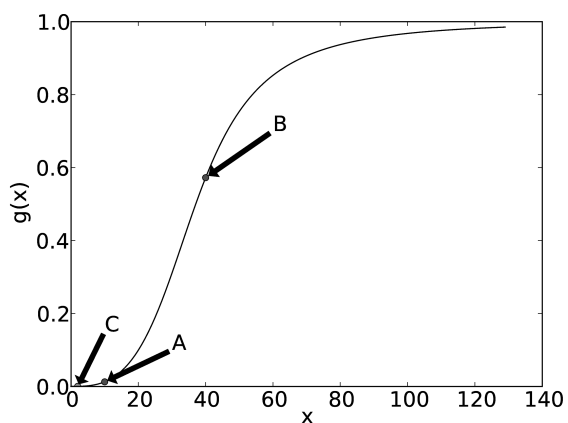
Istotne zwiększenie długości trasy ( $\sim 33\%$  długości linii planowej, *wariant B*) przy zachowaniu tej samej ilości opuszczonych obsługiwanych punktów zwiększa znacząco wartość funkcji kary. Jest to zachowanie pożądane uwzględniające kształt krzywej opisanej funkcją  $g(x)$  (rys. 4.12(a)).

*Wariant C* charakteryzujący się dwukrotnym zwiększeniem liczby nieobsługiwanych punktów nadania/odbioru nie wykazuje dużego zwiększenia kary opisującej efektywność eksploatacji linii. Wynika to z faktu dalszego niskiego udziału ( $\sim 13\%$ ) nieobsługiwanych punktów w ogólnej liczbie miejsc nadania/odbioru na linii.

Rozważmy przebieg funkcji  $g(x)$  i  $h(y)$  przedstawionych na rysunku 4.12(a) i 4.12(b) oraz różnice pomiędzy nimi, co pozwoli zrozumieć mechanizm kształtowania wartości oceny globalnej efektywności eksploatacji.

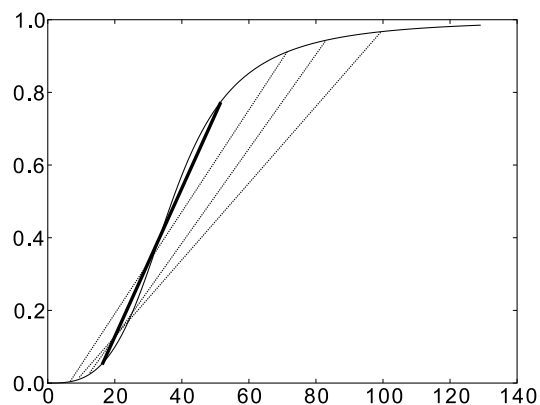
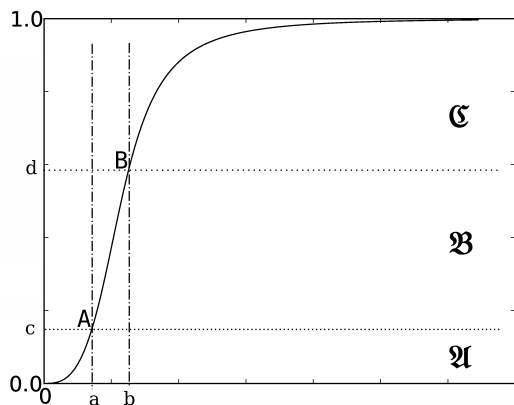
Pomimo tego, że wartości funkcji  $g(x)$  i  $h(y)$  są dodawane dając w wyniku karę określającą efektywność globalną eksploatacji charakterystyczną dla danej linii, to z uwagi na zdefiniowanie na różnych dziedzinach ich porównanie sprawia trudności interpretacyjne (jedna z funkcji określona jest przez wielkość opisującą różnicę długości trasy podczas gdy drugą określa liczba nieobsłużonych punktów nadania/odbioru).

Zauważmy jednak, że w przypadku obydwu funkcji zaobserwować można trzy obszary zmienności (rys. 4.12(c)). W pierwszym przedziale  $x, y \in (0, a)$  obszaru  $\mathfrak{A}$  krańcowe przyrosty wartości kary ulegają zwiększeniu wraz z przyrostem dziedziny funkcji stano-



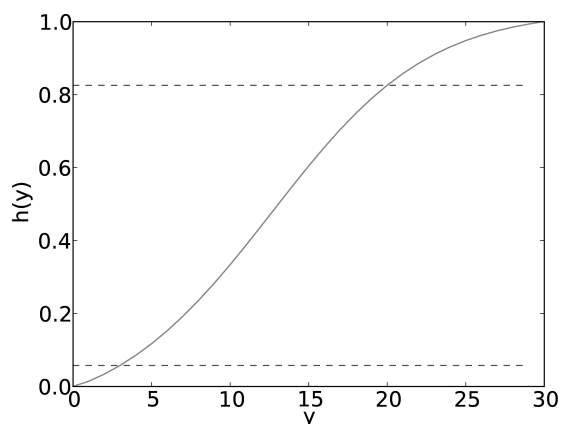
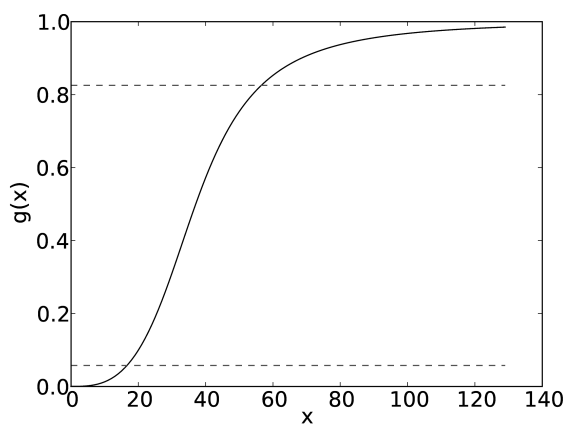
(a) Kara związana z wydłużeniem trasy (tab. 4.2)

(b) Kara związana z opuszczeniem obsługiwanych punktów nadania/odbioru (tab. 4.2)



(c) Obszary zmienności funkcji  $g(x)$  i  $h(y)$

(d) Łączenie par punktów funkcji



(e) Określanie zmienności funkcji kary  $g(x)$

(f) Określanie zmienności funkcji kary  $h(y)$

Rysunek 4.12. Wpływ wydłużenia drogi i opuszczenia obsługiwanych punktów na wartość kary określającej efektywność eksploatacji linii tramwajowej

więc fazę dynamicznego wzrostu wartości funkcji. Drugi przedział  $x, y \in (a, b)$  obszaru  $\mathfrak{B}$  cechuje względnie liniowa zależność wartości funkcji od jej dziedziny przy względnie dużych przyrostach krańcowych. Wartości kolejnych przyrostów krańcowych w przedziale trzecim  $x, y > b$  obszaru  $\mathfrak{C}$  ulega zmniejszeniu dążąc do zera. W przypadku funkcji  $g(x)$  określonej na  $x \in \mathcal{R}^+$  owocuje to asymptotyczną zbieżnością do wartości stałej zaś w przypadku funkcji  $h(y)$  osiągnięciem wartości maksymalnej funkcji w punkcie dla którego styczna jest linią zbliżoną do równoległej względem osi  $y$ . Podział funkcji  $g(x)$  oraz  $h(y)$  na wyróżnione obszary  $\mathfrak{A}$ ,  $\mathfrak{B}$ ,  $\mathfrak{C}$  prowadzi do otrzymania obrazu, który odpowiada przypadkowi pokazanemu na rys. 4.12(e) i 4.12(f). Można zauważyć, że przebieg tych funkcji w obszarze  $\mathfrak{B}$  odbiega nieznacznie od aprosymowanej funkcji liniowej w porównaniu z przedstawionym wcześniej poglądowym obrazem funkcji na rys. 4.12(c).

Wyznamy zatem przedziały wartości funkcji składowych kary charakteryzujące, wspólne dla obydwu funkcji, obszary  $\mathfrak{A}$ ,  $\mathfrak{B}$ ,  $\mathfrak{C}$ . Wykorzystamy w tym przypadku fakt skończonej liczby wartości dziedziny funkcji  $h(y)$ , która określona jest na zbiorze liczb całkowitych ( $y \in \mathcal{Z}$ ). Dla całej określonej dziedziny funkcji  $h(y)$  należy wyznaczyć jej wartość.<sup>9</sup> Otrzymany zostanie w ten sposób zbiór  $\mathbb{H}$  wartości funkcji  $h(y)$  oraz jej argumentów  $\mathbb{Y}$ . Odpowiednie punkty o współrzędnych  $(\mathbb{Y}, \mathbb{H})$  leżą na krzywej funkcji  $h(y)$ . Rozwiązanie równań  $g(x) = \mathbb{H}$  pozwala na obliczenie wartości  $x$  i określenie przez to korespondujących punktów  $(\mathbb{X}, \mathbb{G})$  leżących na krzywej funkcji  $g(x)$  tak, że  $\mathbb{H} = \mathbb{G}$ . Wyznaczone punkty na składowych kary tworzą w ten sposób odpowiadające sobie pary  $(\mathbb{Y}, \mathbb{H})$  i  $(\mathbb{X}, \mathbb{G})$ .

Zwróćmy obecnie uwagę na punkty  $(\mathbb{X}, \mathbb{G})$  krzywej  $g(x)$ . Jeśli przez dowolne dwa punkty  $(\mathbb{X}, \mathbb{G})$  krzywej  $g(x)$  poprowadzona zostanie prosta to wynikiem będzie odcinek o końcach określonych przez wyznaczone wcześniej punkty  $(\mathbb{X}, \mathbb{G})$  (rys. 4.12(d)). Na podstawie parametrów położenia tych punktów wyznaczyć można równania prostych. Ponieważ odcinki te powstały na podstawie punktów posiadających pary w funkcji  $h(y)$  to również te proste tworzą pary pomiędzy funkcjami  $g(x)$  i  $h(y)$ .

Wykorzystując metodę najmniejszych kwadratów wyznaczyć można tę parę odcinków, która najlepiej aproksymuje drugi przedział zmienności funkcji  $g(x)$  i  $h(y)$  o zbliżonym do liniowego zachowaniu. W ten sposób spośród zbioru par prostych przystających do krzywych funkcji  $g(x)$  i  $h(y)$  wybiera się tą, która najlepiej (w stopniu akceptowalnym) przybliży liniowy trend obydwu funkcji na jak najdłuższym przedziale.

Wyznaczona para odcinków określa, przez punkty położenia swych końców, współrzędne dzielące funkcje  $g(x)$  i  $h(y)$  na odpowiadające sobie obszary  $(\mathfrak{A}, \mathfrak{B}, \mathfrak{C})$ . Czyli krańce tych odcinków wyznaczają punkty A i B na rys. 4.12(c). Przedstawiona metoda określania przedziałów zmienności funkcji, z powodu braku formalnego opisu doboru najułaściwszych par odcinków określających przedział  $(a, b)$  obszaru  $\mathfrak{B}$  opisywanych funkcji, pozostaje

<sup>9</sup> Ponieważ funkcja  $g(x)$  jest ciągła to wyznaczenie wszystkich jej wartości na przedziale na którym jest określona nie miałyby sensu (było niewykonalne).

Tabela 4.3. Przedziały zmienności funkcji składowych opisujących efektywność globalną eksploatacji linii tramwajowej o długości  $L = 120jd$  oraz 30. punktami nadania/odbioru

obszary	$\mathfrak{A}$		$\mathfrak{B}$		$\mathfrak{C}$	
funkcja $g(x)$						
	$x_{min}$	$x_{max}$	$x_{min}$	$x_{max}$	$x_{min}$	$x_{max}$
$x$	0	16, 65	16, 65	56, 55	56, 55	$+\infty$
$g(x)$	0, 0000	$\sim 0, 0575$	$\sim 0, 0575$	$\sim 0, 8253$	$\sim 0, 8253$	1, 0000
funkcja $h(y)$						
	$y_{min}$	$y_{max}$	$y_{min}$	$y_{max}$	$y_{min}$	$y_{max}$
$y$	0	3	3	20	20	30
$h(y)$	0, 0000	$\sim 0, 0575$	$\sim 0, 0575$	$\sim 0, 8253$	$\sim 0, 8253$	1, 0000

Dane w tabeli odnoszą się do ilustracji 4.12(e) i 4.12(f).

pod wpływem subiektywnej oceny analityka. Jest ona jednak na tyle jednoznaczna, że pozwala otrzymywać powtarzalne wyniki przez co uznana została za dostatecznie poprawną (trudność stanowi określenie długości przedziału  $(a, b)$  obszaru  $\mathfrak{B}$  gdyż im jest on krótszy tym lepiej dopasowana będzie para prostych do przebiegu krzywych funkcji  $g(x)$  i  $h(y)$ ).

Gotowy podział funkcji  $g(x)$  i  $h(y)$  dla przypadku rozpatrywanej linii tramwajowej ( $L = 120, P = 30$ ) pokazano na rys. 4.12(e) i 4.12(f) a odpowiednie parametry położenia punktów charakterystycznych zawiera tabela 4.3.

Użyteczność podziału funkcji  $g(x)$  oraz  $h(y)$  na obszary  $\mathfrak{A}$ ,  $\mathfrak{B}$ ,  $\mathfrak{C}$  ujawnia się również w sytuacji podejmowania decyzji co do wyboru scenariusza realizacji objazdu. Z uwagi na niezależność zmiennych  $X$  oraz  $Y$  typową sytuacją decyzyjną, pojawiającą się w chwili wystąpienia wyłączenia odcinka linii, jest taka w której można skrócić trasę zastępczą kosztem opuszczenia dodatkowych punktów nadania/odbioru lub przeciwnie zachować większą ich liczbę za cenę dodatkowej drogi pokonywanej przez środki transportu poruszające się po trasie objazdu. Możliwość określenia położenia wartości funkcji składowych kary w poszczególnych przedziałach obszarów  $\mathfrak{A}$ ,  $\mathfrak{B}$ ,  $\mathfrak{C}$  pomaga podjąć właściwą decyzję o najodpowiedniejszej liczbie koniecznych punktów nadania/odbioru opuszczonych na trasie oraz doboru drogi zastępczej.

Różnice w wielkości przedziałów zmiennych  $X$  i  $Y$  odpowiadających obszarom  $\mathfrak{A}$ ,  $\mathfrak{B}$ ,  $\mathfrak{C}$  są bardzo istotne. Szerokość odpowiedniego przedziału dla zmiennej  $Y$  odnosi się do zakresu dziedziny funkcji  $h(y)$  czyli w przypadku rozpatrywanej linii tramwajowej liczby przystanków linii normalnej zaś dla zmiennej  $X$  wielkością odniesienia jest wartość odpowiadająca dwukrotnemu wydłużeniu trasy planowej.

W przypadku funkcji  $h(y)$  przedział  $(a, b)$  odpowiadający obszarowi  $\mathfrak{B}$  zajmuje 57% zakresu dziedziny na której jest ona określona, zaś w przypadku funkcji  $g(x)$  przedział ten



zajmuje 33% w odniesieniu do wartości odpowiadającej dwukrotnemu wydłużeniu drogi planowej linii. Obrazuje to fakt, iż w przypadku funkcji  $h(y)$  jej nieliniowość powodowana jest głównie zależnością pomiędzy punktami obsługi w sieci które stanowią jeden system jednorodnych elementów. Linie sieci transportowej współdzielą między sobą punkty nadania/odbioru wyznaczone w sieci. Jeśli wyłączony zostanie dany punkt to konsekwencje ponosi nie tylko rozpatrywana linia lecz propagują się one na cały układ tras w sieci. Przenoszenie obciążenia między liniami wynikające z potrzeby zaspokojenia popytu na transport w danym punkcie nie jest tak intensywne i jednoznaczne jak wyczerpywanie się potencjału sieci w wyniku wydłużenia trasy linii. W przypadku funkcji  $g(x)$  duże znaczenie przybiera również, oprócz wpływu linii na całą sieć, różnica w drodze (czasie) pokonywanej w trakcie realizacji procesu transportu której ocena z punktu widzenia skutków jakie powoduje nie stanowi zależności liniowej.

Uwzględniając powyższe uwagi oczywistym staje się również to, że nachylenie linii trendu określającej przebieg funkcji  $g(x)$  w obszarze  $\mathfrak{B}$  jest również większe (przyrosty wartości funkcji w tym przedziale są bardziej intensywne).

Zastanawiająca jest interpretacja zbliżonej szerokości przedziałów zmiennych  $X$  (10%) i  $Y$  (13, 8%) odpowiadających obszarowi  $\mathfrak{A}$ . Obrazuje to występowanie w obydwu przypadkach pola ograniczonej tolerancji dla obniżenia jakości ruchu, przy czym wpływ pojedynczej linii na całość sieci w tym zakresie wartości jest znikomy (lecz występuje i nasila się wraz ze wzrostem poziomu zakłóceń).

Poziom zakłóceń odnotowywany dla linii i sieci transportowej w obszarze  $\mathfrak{C}$  staje się tak wysoki, że funkcja obrazująca ten przedział zmienności traci wrażliwość na dalsze zwiększanie czynnika powodującego te zakłócenia.

Biorąc pod uwagę przytoczone rozważania można stwierdzić, że otrzymane wartości funkcji kary dla rozpatrywanych *wariantów A, B i C* objazdu dają wiarygodne i w pełni interpretowalne wyniki.

Rozłączenie linii.

Rozłączeniem linii nazywa się zerwanie jej ciągłości któremu towarzyszy brak uzasadnienia (lub techniczna niewykonalność) dla realizacji objazdu odcinka na którym wystąpiła utrata drożności.

Założmy, tak jak w trakcie analizowania scenariuszy objazdów, że schemat rozłączenia przedstawiony na rys. 4.11(d) obrazuje fragment linii sieci sztywnotorowej oraz, że jest to linia tramwajowa (z tych samych powodów jak uprzednio).

Rozpatrywana linia ma długość  $L = 120$  jd oraz obsługuje 30 punktów nadania/odbioru ( $P = 30$ ). Dane charakteryzujące linię planową oraz jej przerwanie przedstawiono w tabeli 4.4/0. Zdatna część linii składa się z dwóch fragmentów: pierwszy ma długość 45 jd oraz obsługuje 12 punktów nadania/odbioru a drugi 55 jd oraz obsługuje 16 punktów sieci.

Tabela 4.4. Dekompozycja linii rozłączonej (rys. 4.11d)

Lp.	przypadek	$L$	$P$	$w$	$o$	$y$	$x$	$F$
0	pierwotnie	120	30	20	n.d.	2	n.d.	?
1	składowa 1	120	30	75	0	18	-75	0,74828822
2	składowa 2	120	30	65	0	14	-65	0,55054400

gdzie:  $L$  - długość linii normalnej (planowej);  $P$  - liczba punktów nadania/odbioru linii normalnej (planowej);  $w$  - długość odcinka wyłączzonego;  $o$  - długość objazdu;  $y$  - liczba opuszczonych punktów nadania/odbioru na linii;  $x$  - zmiana długości trasy;  $F$  - kara określająca efektywność globalną linii.

Niezdatna część linii składa się z jednego modułu sieci sztywnotorowej o długości 20 jd który obsługuje 2 punkty nadania/odbioru.

Dokonując rozłączenia linii dzieli się ją na niezależne segmenty. Przy jednym rozłączeniu powstają w ten sposób dwa segmenty, przy dwóch rozłączeniach trzy segmenty itd. Segmenty na jakie dzielona jest linia nie stanowią jednak tylko fragmenty linii na którym zachowana jest jej ciągłość. Rozpatrzmy przypadek przedstawiony w tabeli 4.4 w którym linię podzielono na dwa niezależne segmenty. Zakłada się, że pierwszy segment linii (oznaczony jako *składowa 1*) ma długość planową 120 jd (czyli długość linii pierwotnej), oraz że planowa liczba obsługiwanych punktów nadania/odbioru wynosi dla niego 30 (czyli tyle ile w przypadku linii pierwotnej). Tak samo postępuje się w przypadku drugiego segmentu (*składowa 2*) powstałego w wyniku podziału linii pierwotnej. Za jego długość planową przyjmuje się 120 jd oraz jako liczbę planowo obsługiwanych punktów nadania/odbioru przyjmuje się 30. Utracie, w przypadku każdego segmentu, ulegają nie tylko punkty obsługi należące do odcinka wyłączzonego z eksploatacji lecz również te które obsługiwane są przez drugi segment, który jest obecnie niezależny i niedostępny.

Dla wyliczenia wartości kary określającej efektywność globalną eksploatacji stosuje się ten sam co poprzednio wzór (5.1). Z uwagi na występujące skrócenie drogi ( $x < 0$ ) wartość funkcji  $g(x)$  przyjmuje w rozpatrywanym przypadku wielkość  $G = 0$  przez co znacząca pozostaje jedynie funkcja określająca karę za nieobsłużenie punktów nadania/odbioru.

Dokonując obliczeń dla tak wyróżnionych linii można zauważyć, iż rozpatrywane osobno charakteryzują się relatywnie niskim poziomem kary (tab. 4.4). Porównując obliczoną karę dla każdej z linii powstałej w wyniku dekompozycji linii pierwotnej z wcześniej opisywanymi przypadkami objazdów (*wariant A, B, C*) można dojść do wniosku, że po przekroczeniu relatywnie niskiej wielkości dodatkowej drogi objazdu opłaca się dokonać podziału linii. Rozumowanie takie zdaje się towarzyszyć wielu przypadkom objazdów realizowanym w sieciach tramwajowych w Polsce, kiedy to bardzo szybko zarządy organizujące ruch w mieście decydują się na rozłączenie linii. Nie jest to jednak postępowanie właściwe po przeprowadzeniu głębszej analizy i wynika z tego, że porównuje się jedną linię z dwoma

niezależnymi, co nie jest działaniem poprawnym. Przeanalizujemy zatem przypadek prostej sieci dla pokazania właściwego wnioskowania w tym przypadku.

Założmy, że analizowana sieć składa się z 4 linii. Każda z tych linii dla uproszczenia ma długość 120 jd. oraz obsługuje 30 punktów nadania/odbioru. Każda z nich zdolna jest przetransportować 340 jednostek ładunku w elementarnym przedziale czasu. W systemie tym wyłączeniu ulega jeden moduł sieci sztywnotorowej o długości 20 jd. z dwoma obsługiwanymi punktami nadania/odbioru zlokalizowany na jednej z linii. Wyłączenie to prowadzi do rozłączenia jednej z czterech linii sieci na dwie odciążone niezależne linie zastępcze. Do obliczeń efektywności eksploatacji sieci wykorzystuje się formułę 4.17. Wstępnie, dla porównania, policzono wartości kary dla normalnych objazdów bez rozłączenia i uzyskano:

- *variant A* objazdu (tab. 4.2a):  $E_c = 0,99421267$ ;
- *variant B* objazdu (tab. 4.2b):  $E_c = 0,92425780$ ;
- *variant C* objazdu (tab. 4.2c):  $E_c = 0,98933147$ .

Dla obliczenia wartości kary w przypadku rozłączenia jednej z linii w sieci zwiększyć należy liczbę linii do pięciu. Po przeprowadzeniu obliczeń scenariusz sieci z rozłączeniem jednej z linii otrzymuje efektywność eksploatacji sieci  $E_c$  na poziomie: 0,87011677.

Można zatem wysnuć z tego taki wniosek, że:

- w przypadku rozpatrywanej sieci uzasadnione jest rozłączenie linii w przypadku braku technicznej możliwości realizowania objazdu;
- zwiększenie długości linii planowej nawet tysiąc razy, wynikające z objazdu nie może być powodem rozłączenia linii na dwa niezależne segmenty<sup>10</sup>, jeśli jest jedynym argumentem decyzyjnym.

Prezentowany model tłumaczy zatem zarówno obserwowane w warunkach rzeczywistych błędne postępowanie wielu zarządów organizujących ruch w miastach polskich jak i pozwala zidentyfikować mechanizmy, które do niego prowadzą.

Dotychczas rozpatrywane były przypadki typowe, które spotkać można w trakcie eksploatacji sieci sztywnotorowych. Obecnie rozpatrzone zostaną dwa przypadki szczególne, które występują rzadko lecz ze względu na swą interpretację stanowią o tym czy proponowany model jest poprawny. Przypadkami szczególnymi, które zostaną opisane są: ucięcie linii oraz złączenie linii.

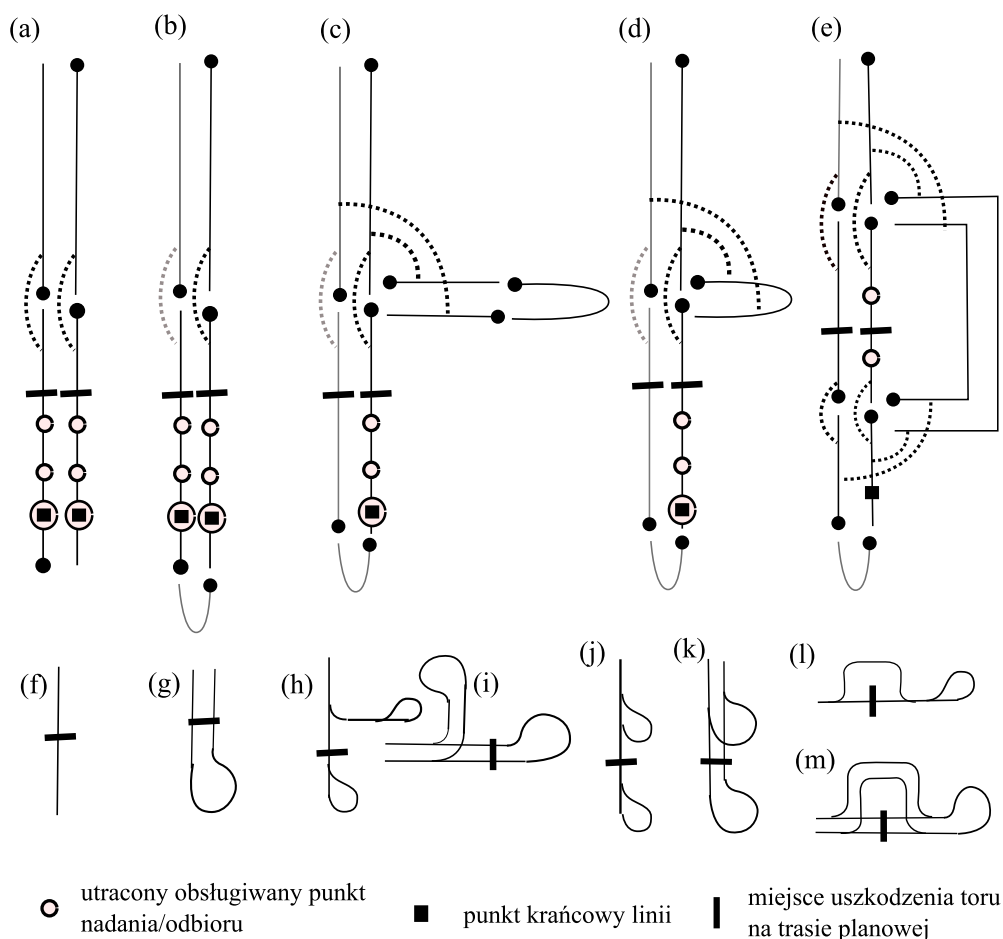
Ucięcie linii.

Za ucięcie linii uważa się jej rozłączenie z towarzyszącym zaniechaniem eksploatacji segmentu linii zawierającego krańcowy punkt nadania/odbioru.

Założmy, tak jak poprzednio, że schematy ucięcia linii przedstawione na rys. 4.13

<sup>10</sup> Dla linii:  $L = 120jd$ ,  $P = 30$ ,  $y = 2$ ,  $x = 120000jd$  w przypadku rozpatrywanej sieci sztywnotorowej  $E_c = 0,87077522$ .

obrazują fragmenty linii sieci sztywnotorowej oraz, że jest to linia tramwajowa (z tych samych powodów jak uprzednio). Dla zachowania ciągłości wywodu oraz zgodności analizowanych przypadków założmy również, że rozpatrywana linia ma długość  $L=120$  jd oraz obsługuje 30 punktów nadania/odbioru ( $P=30$ ).



Rysunek 4.13. Wybrane warianty ucięcia linii

Ponieważ rozpatrywane są krańce linii, w analizie układu torowego, uwzględnić należy ruch powrotny na ich końcach. Pomimo to do obliczeń kary związanej z efektywnością eksploatacji przyjmowany jest tylko ruch w jednym kierunku, gdyż każdy z kierunków ruchu na linii rozpatrywany jest oddzielnie (ruch w przeciwnych kierunkach może być realizowany różnymi trasami). Ponadto zakłada się, zgodnie ze schematami układów torowych zamieszczonych na rys. 4.13a, 4.13b, 4.13c, 4.13d 4.13e ruch lewostronny.

Rysunek 4.13a przedstawia schemat obcięcia linii w notacji sieci sztywnotorowych bez możliwości zapobieżenia utracie dostępu do punktów krańcowych linii (tab. 4.5/1). Odpowiadający temu scenariuszowi układ torowy odwzorowany jest na rysunku 4.13f. Ruch odbywa się na pojedynczym torze w obydwu kierunkach. Oznaczmy ten przypadek jako *układ A*.

Tabela 4.5. Wybrane warianty ucięcia linii

Lp.	ukł.	rys.	$L$	$P$	$w$	$o$	$y$	$x$	$F$
1	A	4.13a	120	30	20	0	3	-20	0,057556205
2	B	4.13b	120	30	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
3	C	4.13c	120	30	20	30	3	10	0,070056581
4	D	4.13d	120	30	20	3	3	-17	0,057556205
5	E	4.13e	120	30	20	30	2	10	0,046298574

gdzie: ukł. - oznaczenie układu ucięcia linii;  $L$  - długość linii normalnej (planowej);  $P$  - liczba punktów nadania/odbioru linii normalnej (planowej);  $w$  - długość odcinka wyłączzonego;  $o$  - długość objazdu;  $y$  - liczba opuszczonych punktów nadania/odbioru na linii;  $x$  - zmiana długości trasy;  $F$  - kara określająca efektywność globalną linii.

Na kolejnym schemacie (rys. 4.13b, układ torowy: rys. 4.13g, dane: tab. 4.5/2) przedstawiono scenariusz w którym nie jest możliwe realizowanie ruchu na całym pokazanym fragmencie linii. Aby zmienić kierunek ruchu pojazd musiałby się przemieścić na równoległy tor co jest technicznie niemożliwe na pokazanym przykładzie. Należy zatem w tym przypadku rozpatryć dłuższy odcinek do wyłączenia niż wynikałoby to z lokalizacji uszkodzonych modułów sieci sztywnotorowej. Oznaczmy ten przypadek jako *układ B*.

Technicznie wykonalne odcięcie linii na prezentowanym fragmencie linii przedstawiono na rysunku 4.13c (schemat organizacji ruchu reprezentuje zarówno układ torowy pokazany na rys. 4.13h jak i 4.13i, różnice występujące przy implementacji modelu występować będą jednak w charakterystykach uzupełniających modułów sieci, dane: tab. 4.5/3). Zmiana kierunku możliwa jest dzięki dostępowi do pętli, jednak aby z niej skorzystać konieczne jest pokonanie dodatkowej drogi uznawanej jako trasa objazdu. Oznaczmy ten przypadek jako *układ C*.

Jeśli pętla występuje przy samej trasie linii (rys. 4.13d, układ torowy: zarówno rys. 4.13j jak i 4.13k, dane: tab. 4.5/4) to objazd realizowany jest z minimalnym narzutem dodatkowej drogi. Dzięki skróceniu trasy linii planowej, wynikającemu z zakłóceń, dodatkowa droga nie wpływa na wynik kary, gdyż skrócenie linii rekompensuje w całości dodatkową drogę pokonywaną w trakcie objazdu. Oznaczmy ten przypadek jako *układ D*.

Przypadkiem szczególnym jest taki (rys. 4.13e, układ torowy: zarówno rys. 4.13l jak i 4.13m, dane: tab. 4.5/5) w którym możliwe jest utrzymanie łączności z obsługiwanym punktem krańcowym linii za cenę relatywnie dużego wydłużenia pokonywanej trasy (w prezentowanym przykładzie 25% długości linii planowej). Oznaczmy ten przypadek jako *układ E*.

Wartości kary związanej z oceną globalnej efektywności eksploatacji sieci sztywno-

torowej dla przedstawionych scenariuszy odcięcia linii obliczono zgodnie z formułą 5.1 i podano w tabeli 4.5.

Najmniej korzystny przypadek odzworowuje *układ C*. Brakowi obsługi trzech punktów nadania/odbioru towarzyszy duża wartość określająca drogę objazdu. Ograniczenie długości objazdu pozwala uzyskać średnie wartości kary, przy czym przypadek linii z jednym torem jest bardziej elastycznym rozwiązaniem, choć za cenę częstszego występowania sytuacji kolizyjnych na trasie (*układ A* i *układ D*). Korzystne jest obsłużenie krańcowego punktu nadania/odbioru uwzględniające pokonywanie znacznie dłuższej trasy względem planowej (*układ E*) co ideowo zbliżone jest do sytuacji rozłączenia linii.

Na podstawie wyróżnionych układów torowych można stwierdzić, iż model wykazuje pożądane własności zachowując się w sytuacji ucięcia linii zgodnie z oczekiwaniami określonymi przez doświadczonych obserwatorów ruchu w sieciach tramwajowych.

#### Złączenie linii.

Złączenie występuje wtedy, gdy dwie niezależne linie w wyniku przeprowadzenia ich ucięć mogą zostać połączone w jedną, przechodząc jedna w drugą.

Założmy ponownie, że schematy złączenia linii przedstawione na rys. 4.14 obrazują linie sieci sztywnotorowej oraz, że są to linie tramwajowe (z tych samych powodów jak poprzednio) o ruchu lewostronnym. Dla zachowania ciągłości wywodu oraz zgodności analizowanych przypadków założmy również, że rozpatrywane linie mają długość  $L=120$  jd oraz obsługują 30 punktów nadania/odbioru każda ( $P=30$ ).

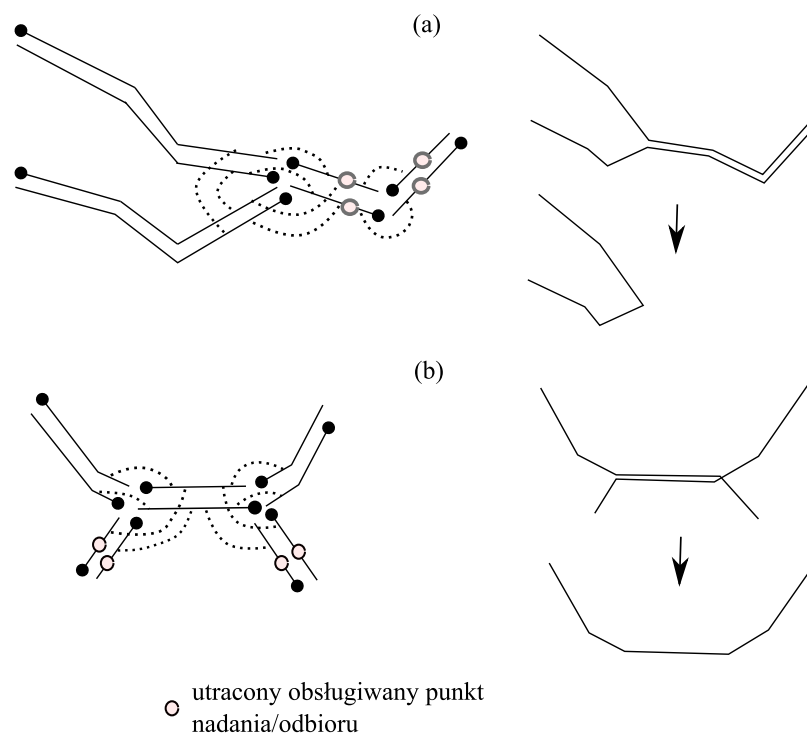
W pierwszym, przedstawionym na rysunku 4.14a, przypadku wyłączeniu ulega wspólny dla obydwu linii odcinek toru. Obydwie linie podlegają ilościowo tej samej utracie ulegając skróceniu w wyniku wyłączenia odcinka. Nie jest technicznie możliwe przywrócenie połączenia pomiędzy krańcowymi punktami każdej z planowych linii.

Karę związaną z oceną globalnej efektywności eksploatacji linii sieci sztywnotorowej wylicza się ze wzoru 5.1. Obliczenia przeprowadza się tak, że każdą z linii traktuje się osobno. Ocenę dokonuje się osobno dla każdego z kierunków ruchu na linii. W rozpatrywanym przypadku mamy więc do czynienia z dwoma liniami na których nastąpiło ich ucięcie. Czynna część drugiej linii staje się dodatkową drogą jaką musi pokonać każdy z pojazdów linii pierwszej. Pokonanie tej drogi nie wiąże się jednak z potrzebą dodatkowego taboru na obsługę linii ani też wykorzystaniem dodatkowego potencjału sieci, gdyż nie ma odcinków na których tabor jest wykorzystywany niezgodnie z linią planową (wjeżdżając na drugą linię tabor staje się częścią tej linii). Z tego względu nie wlicza się dodatkowej drogi objazdu. Dla uproszczenia założmy, że złączeniu ulegają dwie takie same linie.

*Linia 1:*  $L = 120, P = 30, w = 20, o = 0, y = 1, x = -20$  .

*Linia 2:*  $L = 120, P = 30, w = 20, o = 0, y = 1, x = -20$  .

W przypadku *linii 1* wartość kary dla jednego z kierunków ruchu na linii wynosi: 0,014104012.



Rysunek 4.14. Złączenie linii

W przypadku *linii 2* wartość kary dla jednego z kierunków ruchu na linii wynosi: 0,014104012.

W drugim, przedstawionym na rysunku 4.14b, przypadku wyłączone są dwa rozłączne segmenty linii. Linie współdzielą środkową część trasy planowej.

Dla każdej z linii obliczenia przeprowadza się osobno, a ocenę dokonuje się dla każdego kierunku ruchu na linii z osobna zgodnie ze wzorem 5.1. Interpretacyjnie, ponownie mamy do czynienia z dwoma uciętymi liniami. Tak jak poprzednio, nie ma powodu dla wliczania dodatkowej drogi objazdu, w części która reprezentuje drugą linię względem aktualnie rozpatrywanej. Do obliczeń przyjęto następujące dane:

*Linia 1:*  $L = 120, P = 30, w = 20, o = 0, y = 2, x = -20$  .

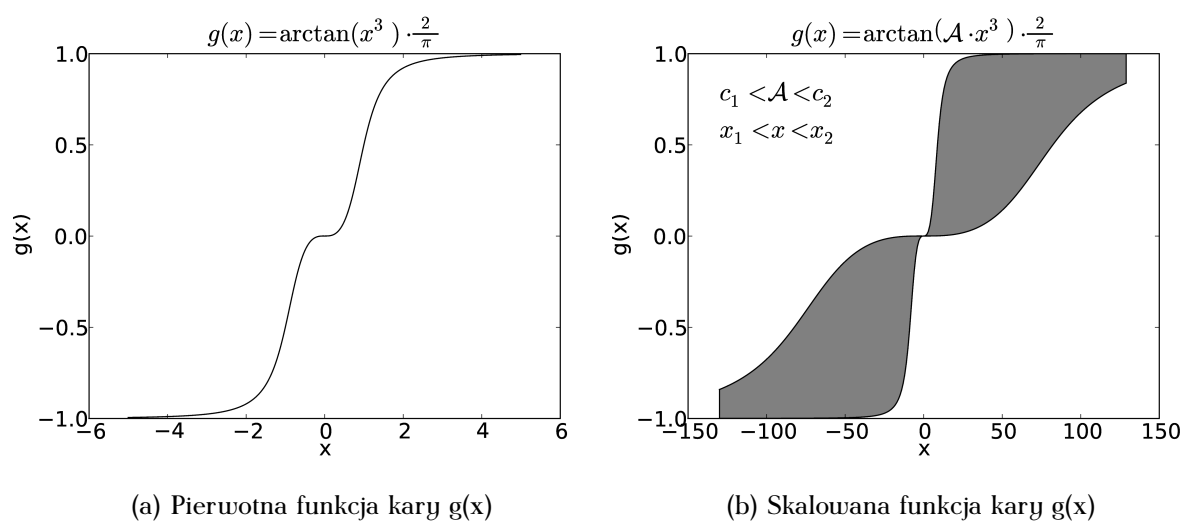
*Linia 2:*  $L = 120, P = 30, w = 20, o = 0, y = 2, x = -20$  .

W przypadku *linii 1* wartość kary dla jednego z kierunków ruchu na linii wynosi: 0,033798198.

W przypadku *linii 2* wartość kary dla jednego z kierunków ruchu na linii wynosi: 0,033798198.

Można więc stwierdzić, iż prezentowany model pozwala na rozpatrywanie przypadku szczególnego jakim jest złączenie dwóch linii oraz jego właściwą interpretację.

W dotychczasowym postępowaniu przy walidacji modelu oceny efektywności eksploatacji sieci sztywnotorowej przyjmowano założenie, że rozpatrywana linia jest linią tramwajową. Założenie to pozwoliło dobrać odpowiedni wariant funkcji spośród 4.14 4.15 i 4.16, dobrać

Rysunek 4.15. Zmienność kształtu funkcji kary  $g(x)$ 

odpowiednie współczynniki kształtu i odpowiednio skalibrować szukaną funkcję oceny globalnej efektywności eksploatacji dla rozpatrywanego przypadku.

Przedstawiana klasa systemów sieci sztywnotorowych nie jest jednorodna. W zależności od konkretnego przypadku współczynniki kształtu pozwalają dostosować funkcję kary do własności analizowanego systemu, zachowując charakterystykę cechującą sieci sztywnotorowe, która opisana została w rozdziale 4.1.

Funkcję  $g(x)$  określającą karę związaną z wydłużeniem trasy w uproszczeniu można zapisać dla konkretnego przypadku linii sieci sztywnotorowej w postaci:

$$g(x) = \arctan(\mathcal{A} \cdot x^3) \cdot \frac{2}{\pi} \quad (4.24)$$

gdzie:

$$\mathcal{A} = \frac{a}{L^b}$$

oraz:  $x$  - zmiana długości trasy;  $L$  - długość linii normalnej (planowej);  $a, b$  - współczynniki kształtu.

W zastosowaniach praktycznych rozłożenie współczynnika kształtu  $\mathcal{A}$  na składowe  $a, b, L$  pomaga w kalibrowaniu funkcji oraz wyróżnia składnik określający planową długość linii w sposób jawny ją deklarując.

Pierwotna postać funkcji  $g(x)$  przedstawiona została na rysunku 4.15(a). Posiada ona właściwy kształt lecz zmienność jej wartości występuje w znaczący sposób w bardzo małym przedziale  $X$ . Funkcja ta poddaje się skalowaniu w jednoznaczny i przewidywalny sposób. Na rysunku 4.15(b) przedstawiono zakres zmienności funkcji  $g(x)$  dla przykładowego przedziału wartości  $\mathcal{A}$ . Wartości brzegowe  $c_1$  i  $c_2$  dla pokazanego obszaru zmienności funkcji wynoszą:



–  $c_1 = 1,79270215e - 06$  ( $a = 5; b = 3, 1; L = 120$ ).

–  $c_2 = 0,0014600303$  ( $a = 5; b = 1, 7; L = 120$ ),

zaś zmienna  $X$  określona jest na przedziale  $x \in \langle -130, 130 \rangle$ .

W zależności od przedziału  $X$  w jakim w sposób znaczący ma występować zmienność funkcji dobierać można odpowiednie wartości  $a$  i  $b$  (dla  $a$  zmiany następują liniowo lecz dla uzyskania większych zmian bardziej przejrzysta jest zmiana wartości  $b$ ).

Zakres zmienności funkcji  $g(x)$  pozwala na odpowiednie jej dopasowanie do dowolnego przypadku systemu sieci sztywnotorowej.

Kontrolę poprawności wartości współczynników kształtu można przeprowadzić na podstawie charakterystycznych i jednoznacznie interpretowalnych przypadków, w sposób podobny jak wykonano to dla ucięcia, objazdu, rozłączenia i złączenia linii tramwajowej w trakcie walidacji modelu. Przypadki charakterystyczne i typowe dla danego systemu sztywnotorowego należy dobrać indywidualnie, dostosowując je do rodzaju analizowanego obiektu.

Funkcja  $h(y)$  powstała z przekształcenia funkcji logistycznej. Jako podstawę dla funkcji kary wybrano tę funkcję, gdyż jest ona szeroko stosowana, dobrze zbadana oraz pozwala w kontrolowany sposób modelować jej zachowanie w całej swej dziedzinie. Spełnia przy tym wszystkie wymagania stawiane funkcji określającej karę związane z nieobsłużeniem punktów nadania/odbioru na linii (rozd. 4.1). Funkcja ta musiała zostać jednak dostosowana zgodnie z zastosowaniem funkcji  $h(y)$ . Skalibrowaną i dostosowaną do potrzeb oceny systemów sztywnotorowych postać funkcji można zapisać w następujący sposób:

$$h(y) = \left( \frac{1}{1 + 6 \cdot e^{-5,5 \cdot (\frac{y}{P})^c}} - \frac{1}{7} \right) \cdot 1,2001789236822665 \quad (4.25)$$

gdzie:  $P$  jest stałą charakterystyczną dla danej linii,

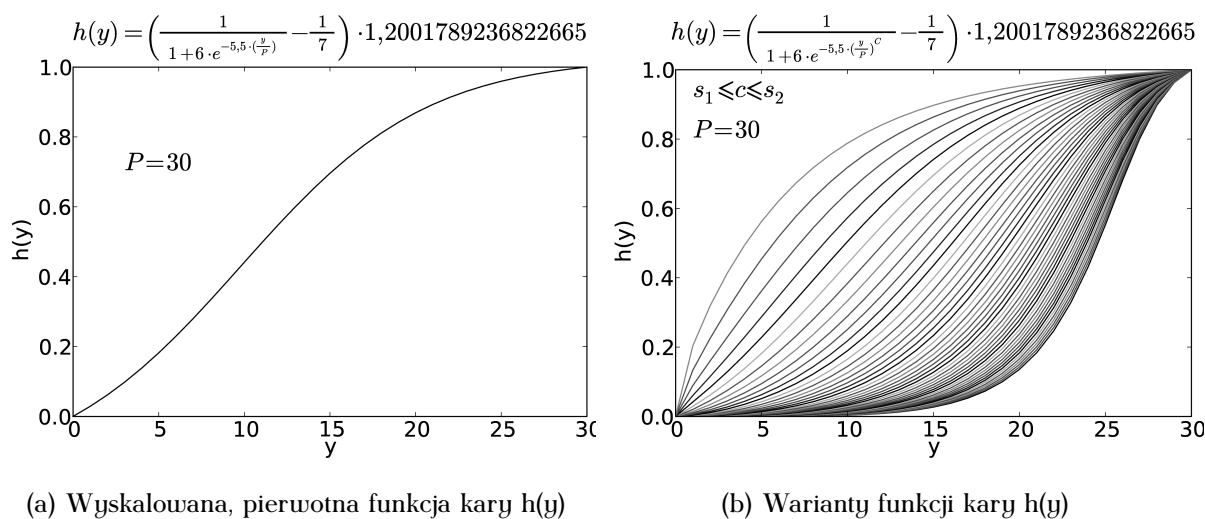
oraz:  $y$  - liczba opuszczonych punktów nadania/odbioru na linii;  $P$  - liczba obsługiwanych punktów nadania/odbioru na linii;  $c$  - współczynnik kształtu.

Na rysunku 4.16(a) przedstawiona została postać funkcji wyjściowej otrzymana z funkcji logistycznej.

Funkcja ta po określeniu dodatkowego parametru kształtu  $c$  (rys. 4.16(b)) poprawnie odzwierciedla własności funkcji kary związanej z nieobsłużeniem punktów nadania/obioru na linii zachowując wszystkie własności określone w rozdziale 4.1.

Rysunek 4.16(b) przedstawia jak zmienia się zachowanie funkcji przy modyfikowaniu współczynnika kształtu  $c$  o wartość 0,1 w zakresie od 0,5 do 5.

Funkcja  $h(y)$ , jak można zauważyć na przedstawionych ilustracjach, jest bardzo elastyczna co do przebiegu w zależności od przyjętego parametru  $c$ . Pozwala ona zamodelować dowolny przypadek systemu sieci sztywnotorowych.

Rysunek 4.16. Zmienność kształtu funkcji kary  $h(y)$ 

Kontrolę poprawności wartości współczynnika kształtu można przeprowadzić tak jak w przypadku funkcji  $g(x)$  na podstawie charakterystycznych i jednoznacznie interpretowalnych przypadków (co przedstawiono na przykładzie objazdu, rozłączenia, ucięcia i złączenia linii). Tak jak uprzednio przypadki charakterystyczne i typowe dla danego systemu sztywnotorowego należy dobrać indywidualnie, dostosowując je do rodzaju analizowanego obiektu.

Na podstawie przeprowadzonego postępowania mającego na celu walidację wskaźnika globalnej efektywności eksploatacji sieci sztywnotorowych można orzec pozytywnie co do trafności prezentowanego modelu oceny.

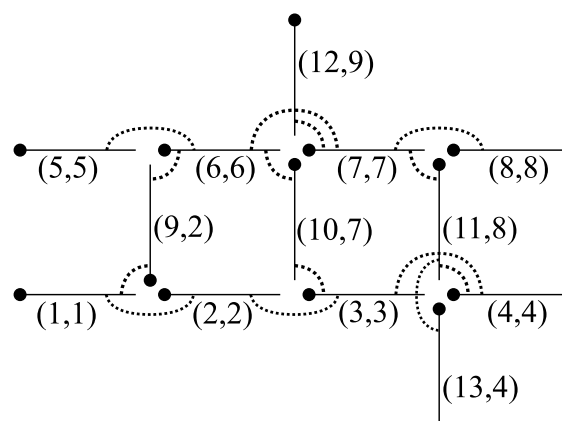
Wskaźnik lokalnej efektywności eksploatacji sieci sztywnotorowych nie przysparza problemów interpretacyjnych. Posiada prostą postać matematyczną. Z tego względu w celu jego walidacji nie było koniecznym przeprowadzanie analiz podobnych do tych, które przeprowadzono dla oceny globalnej.

Walidację wskaźnika oceny lokalnej efektywności eksploatacji systemów sieci sztywnotorowych przeprowadza się poprzez pokazanie przykładowej, uproszczonej i dostosowanej do celów demonstracyjnych sieci, dla której dokonuje się przykładowe obliczenia.

Sieć  $SD - 1$  jest siecią sztywnotorową  $2r$  o drogach jednokierunkowych (rys. 4.17). Załóżmy tak jak poprzednio, że sieć  $SD - 1$  jest siecią tramwajową. W sieci tej występują trzy linie transportowe o trasach:

1.  $L1$

— trasa planowa (T1-0): 1,1 - 2,2 - 3,3 - 4,4



Rysunek 4.17. Sieć demonstracyjna SD-1

— trasy alternatywne:

— (T1-1): 1,1 - 9,2 - 6,6 - 10,7 - 3,3 - 4,4

— (T1-2): 1,1 - 9,2 - 6,6 - 7,7 - 11,8 - 4,4

2.  $L_2$

— trasa planowa (T2-0): 12,9 - 7,7 - 11,8 - 13,4

— trasy alternatywne: 0

3.  $L_3$

— trasa planowa (T3-0): 5,5 - 6,6 - 7,7 - 8,8

— trasy alternatywne: 0

przy czym długość wszystkich modułów sieci jest taka sama.

Na linii  $L_1$  kursuje jeden skład o 250 miejscach.

Na linii  $L_2$  kursuje jeden skład o 125 miejscach.

Na linii  $L_3$  kursuje jeden skład o 182 miejscach.

Ruch na trasach dla każdej przeprowadzanej obserwacji odbywa się jednorazowo (w sieci tej nie ma możliwości realizacji ruchu w drugą stronę każdej z linii). Dane eksploatacyjne poszczególnych odcinków zawarto w tabeli 4.6.

Założmy, że uszkodzeniu uległ odcinek trasy odpowiadający modułowi (2,2) i poszukiwana jest najbardziej korzystna droga zastępcza z punktu widzenia niezawodności. Przeprowadźmy obliczenia dla uzyskania wartości wskaźnika lokalnej oceny efektywności sieci sztywnotorowej dla poszczególnych linii. Do obliczeń stosuje się wzór 4.22:

(T1-0):  $E_L = 0$  ;

(T1-1):  $E_L = 0,38580246$  ;

(T1-2):  $E_L = 0.019240099$ .

Trasa (T1-1) jest dużo korzystniejsza z uwagi na dużo mniejszy stopień współdzielenia toru z innymi liniami, pomimo tego że linia  $L_1$  jest najbardziej znacząca w sieci.

Wskaźnik ten można też stosować dla sprawdzenia jaka będzie niezawodność działa-

Tabela 4.6. Charakterystyka uzupełniająca modułów sieci  $SD - 1$ 

Odcinek	Rezerwacja				Potencjał				ST
	RL1	RL2	RL3	RW	PL1	PL2	PL3	PW	
1,1	3	0	0	3	250	0	0	250	1
2,2	1	0	0	1	250	0	0	250	0
3,3	2	0	0	2	250	0	0	250	1
4,4	3	0	0	3	250	0	0	250	1
5,5	0	0	1	1	0	0	182	182	1
6,6	2	0	1	3	250	0	182	432	1
7,7	1	1	1	3	250	125	182	557	1
8,8	0	0	1	1	0	0	182	182	1
9,2	2	0	0	2	250	0	0	250	1
10,7	1	0	0	1	250	0	0	250	1
11,8	1	1	0	2	250	125	0	375	1
12,9	0	1	0	1	0	125	0	125	1
13,4	0	1	0	1	0	125	0	125	1

gdzie: RL1, RL2, RL3 - liczba tras danej linii przebiegająca przez odcinek; RW - liczba wszystkich tras przeprowadzonych przez odcinek; PL1, PL2, PL3 - potencjał przewozowy linii na odcinku; PW - suma potencjałów przewozowych wszystkich linii na odcinku; ST - stan (0-niezdalny/1-zdalny).

nia linii w danym układzie torów, identyfikować wąskie gardła będące kandydatami do modernizacji itp.

Na podstawie przedstawionego przykładu można stwierdzić, że wskaźnik określający lokalną efektywność eksploatacji sieci sztywnotorowej jest użyteczny i poprawnie ocenia każdy z modułów sieci jak i linii, a dzięki informacjom jakie zawiera powinien posiadać szerokie możliwości aplikacyjne (czego przykład zostanie opisany w rozdziale piątym).

## 5. Weryfikacja i implementacja modelu

Różnice konstrukcyjne poszczególnych reprezentantów klasy systemów sztywnotorowych są powodem znacznych różnic pomiędzy eksploatacją tych systemów.

Bieżący rozdział pokazuje sposób posługiwania się modelem klasy sieci sztywnotorowych dla konkretnego systemu transportowego. Na przykładzie sieci torowisk tramwajowych miasta Wrocław, poprzez analizę tego przypadku, weryfikuje się prawidłowość proponowanego modelu oceny.

### 5.1. Sieć tramwajowa - implementacja modelu sieci sztywnotorowej

Za przykład procedury implementacji modelu oraz oceny systemu sztywnotorowego posłużyła w pracy sieć tramwajowa miasta Wrocław. System ten uznany został jako najbardziej odpowiedni reprezentant klasy sieci sztywnotorowych dla pokazania podejścia do analizy i oceny oraz praktycznego znaczenia modelu. Na zasadność wyboru sieci tramwajowej wskazywano dotychczas m.in. w rozdziale drugim i czwartym. Nie kwestionowano natomiast samej przynależności tego systemu do klasy sieci sztywnotorowych, którą zakładano odgórnie, bez weryfikacji. Procedura implementacji modelu dla konkretnego systemu transportowego uwzględnia dokonanie weryfikacji przynależności do wyróżnionej klasy systemów.

Implementację tą przeprowadza się w trzech etapach:

1. zdefiniowanie problemu,
2. identyfikacja systemu,
3. projektowanie modelu systemu,

których efekt stanowi punkt wyjścia do właściwej analizy i oceny.

Ad.1 Zdefiniowanie problemu.

Etap ten zbliżony jest do *analizy problemowej* [47] podejścia systemowego lecz nie jest z nim tożsamy. Jego zasadniczym zadaniem jest określenie źródeł problemów występujących w obszarze eksploatacji działającego systemu, co ma pozwolić na uzyskanie przekrojowego obrazu tego co istotnego, z punktu widzenia przedmiotu prowadzonych badań, dzieje się w systemie. Dominującą część tego etapu stanowi opis techniczno-technologiczny

badanego systemu transportowego. Celem tego etapu analizy jest zebranie informacji o przebiegu procesu eksploatacji oraz zidentyfikowanie tych elementów, które: są dla niego charakterystyczne, określone podczas rejestrowania jego działania jako szczególnie ważne lub kluczowe patrząc przez pryzmat klasy sztywnotorowej.

#### Ad.2 Identyfikacja systemu .

Pełna nazwa tego etapu określona jest jako identyfikacja rodzajowa systemu. Głównym pytaniem na które szuka się odpowiedzi jest to czy problem (problemy), rozpoznany w badanym systemie, może być opisany w sposób jednoznaczny i adekwatny co do swojej istoty za pomocą modelu sieci sztywnotorowych? Aby to dokonać należy przede wszystkim stwierdzić czy analizowany system można zakwalifikować jako reprezentanta klasy sieci sztywnotorowych? O ile w poprzednim etapie obiektem badań był zbiór systemów danego rodzaju (np. sieci tramwajowe w ogólności), którego kryteria wyróżniające oparte były na jego techniczno-technologicznej charakterystyce, tak w bieżącym etapie rozpatruje się konkretny przypadek. Z tego powodu etap ten powinien uwzględniać opis badanego systemu.

#### Ad.3 Projektowanie modelu systemu .

Po uzyskaniu przekrojowego obrazu, uwzględniającego wszystkie rozpoznane i uznane za istotne obszary problemowe danego systemu oraz stwierdzeniu, że jego charakterystyka kwalifikuje go jako system sztywnotorowy, następuje projektowanie jego modelu. Etap ten wykorzystując zasady budowy oraz modelowania sieci sztywnotorowych prowadzi do uzyskania zapisu (opisu) rozpatrywanego systemu zgodnie z konwencją zapisu oraz regułami opisu obiektu klasy sieci sztywnotorowych. Wynikiem tego etapu jest pełny model badanego systemu, który może być analizowany jako system wyróżnionej klasy na poziomie abstrakcji, który eliminuje potrzebę ciągłego sięgania do zapisów z rejestracji obserwacji danego przypadku. W odniesieniu do rozpatrywanego przykładu: system ten rozpatruje się jako sieć sztywnotorową a to, że jest to równocześnie sieć tramwajowa staje się informacją drugoplanową.

### 5.1.1. Zdefiniowanie problemu

Tramwaje są pojazdami szynowymi używanymi w transporcie miejskim. Ich przemieszczanie odbywać się może zarówno w ruchu mieszanym po jezdni jak i wydzielonym torowisku. W okresie powojennym zarejestrowano na świecie znaczny spadek popularności użycia tej technologii transportu, włączając w to likwidację wielu sieci miejskich (w tym będących wynikiem działań koncernów związanych z produkcją i eksploatacją pojazdów drogowych). Od lat osiemdziesiątych dwudziestego wieku obserwuje się powrót

do tramwaju jako środka komunikacji miejskiej, głównie dzięki jego wydajności, kosztom eksploatacji oraz ekologiczności korzystniejszym w porównaniu z autobusem.

Linie tramwajowe mogą być niezależne w swoim przebiegu od układu ulic co w praktyce poprawia płynność ruchu w mieście oraz pozwala na bardziej elastyczne zagospodarowanie przestrzeni miejskiej. Wyznaczenie osobnego pasa ruchu dla transportu zbiorowego wiąże się w przypadku transportu tramwajowego z mniejszym zapotrzebowaniem na wydzieloną powierzchnię, w tym dzięki prowadzeniu sztywnym torem, w porównaniu z autobusami. W eksploatacji jest przy tym często pojazdem tańszym oraz dłużej użytkowanym przez co korzystniejszym w kosztach amortyzacji. Wybrane, wymienione korzystne cechy transportu tramwajowego oraz pozostałe mniej istotne z punktu widzenia tematu prezentowanej pracy decydują o tym, że prognozuje się dalszy wzrost jego znaczenia w ruchu miejskim średnich i dużych aglomeracji. Jest zatem zasadne przyjęcie go jako obiekt badań z perspektywy praktycznego znaczenia.

Jak każdy rodzaj transportu, tak i transport tramwajowy, posiada wady. Do głównych wad oprócz tych, które są konsekwencją występowania typowych cech sieci sztywnotorowej zalicza się m.in. wysokie koszty budowy i utrzymania infrastruktury, zasadność powstania tylko dla dużych potoków pasażerskich, wysoki koszt zakupu taboru, uciążliwość hałasu w pobliżu torowiska. Są to więc w znacznej mierze wady związane używanymi pojazdami. Wymienione wady znacznie słabną przy porównaniu do alternatywnego sposobu przemieszczania, którym są autobusy.

Jako wady przewozów realizowanych systemami tramwajowymi w sieciach sztywnotorowych identyfikuje się głównie blokowanie ruchu w przypadku awarii infrastruktury lub taboru, które w swoich skutkach szybko i w sposób znaczący propaguje się w całej sieci oraz organizację uciążliwych objazdów, zwłaszcza w mało rozbudowanych sieciach.

Uwzględniając dekompozycję sieci na odrębne moduły oraz koncentrując się na aspektach eksploatacji sieci jako systemu sztywnotorowego w analizie sieci tramwajowej najbardziej istotną rolę spełnia torowisko. Skoncentrowanie się na tym elemencie infrastruktury pozwala oddzielić zagadnienia związane bezpośrednio z pojazdami szynowymi, w tym system ich zasilania oraz bieżącej organizacji ruchu poprzez pominięcie elementów sygnalizacji. Torowisko tramwajowe jest elementem, który jest bezpośrednio związany z charakterem sieci sztywnotorowych. Jego utrzymanie oraz naprawy nagłe są przy tym głównym nośnikiem uciążliwości tak co do kosztów, długości trwania jak i wpływu na transport w mieście spośród wszystkich elementów infrastruktury tramwajowej. Czy pominięcie analizy pozostałych elementów na etapie definiowania problemów nie wpłynie znacząco na utratę wartości modelu? Biorąc pod uwagę obserwację systemów rzeczywistych można stwierdzić, że przy rozpatrywaniu wyłączeń odcinków związanych z naprawą elementów infrastruktury traktowane mogą być one jako towarzyszące zagadnieniom utrzymania torowiska. Ich naprawa przeprowadzana jest na ogół w trakcie remontu torowiska lub nie

stanowi istotnego czynnika zakłócającego w porównaniu z jego remontem. Uwzględnienie ich w prezentowanej pracy spowodowało by przy tym znaczące wyjście poza ramy akceptowalnej jej objętości.

W przypadku transportu szynowego najczęściej przyjmuje się następujące zasady obsługi przewozowej<sup>1</sup>:

- odcinki o luźnej zabudowie: komunikacja tramwajowa na wydzielonym torowisku;
- rejonny o zwartej zabudowie i szerokich ulicach: komunikacja tramwajowa na wydzielonym torowisku;
- dzielnice gęsto zabudowane o wąskich ulicach: metro w innym poziomie niż ulica (tunele, wiadukty);
- dzielnice podmiejskie: tramwaj na wydzielonym torowisku lub kolej podmiejska.

Jeśli to możliwe należy unikać stosowania torów wbudowanych w jezdnię.

Z powodu presji jaka jest wywierana na budowę wydzielonych torowisk, pozwalających uzyskać korzystniejsze warunki eksploatacji oraz w pełni wykorzystać zalety tego rodzaju transportu przy jednocześnie wysoko efektywnym wykorzystaniu przestrzeni, również w sieciach tramwajowych można mówić o pewnym istotnym stopniu ograniczenia przestrzennego, który jest typowym czynnikiem towarzyszącym systemom sieci sztywnotorowych.

Głównymi czynnikami uwzględnianymi w projektowaniu tras tramwajowych są:

- szerokość ulicy i jej przekrój poprzeczny (jezdnie, chodniki, zabudowa),
- sytuacja w planie (krzywizny, skrzyżowania, ...) i w profilu (spadki podłużne i poprzeczne),
- lokalizacja innych urządzeń miejskich w ulicy (kanalizacja, sieć ciepła, wodociągi, kable elektryczne, ...),

przy czym za pożądaną skalę planów wykorzystywanych w tym projektowaniu uznaje się 1:250, a dla rozjazdów na skrzyżowaniach ulic 1:100.

Wydzielone torowisko można projektować na ulicach o dwóch jezdniach, co najmniej dwupasowych (torowisko usytuowane między jezdniami). Przy projektowaniu torowiska z boku jezdni w obrębie zabudowanych ulic jezdnie powinna mieć co najmniej cztery pasy ruchu.

Wydzielone torowisko tramwajowe można projektować na jezdni o szerokości co najmniej 21 m nie licząc chodnika. Na odcinkach zamiejskich gdzie torowisko tramwajowe zlokalizowane jest najczęściej przy jezdni lub poza nią, szerokość jezdni wynika z potrzeb natężenia ruchu. Wydzielone torowisko musi pomieścić dwa tory. Odległość między osiami torów wynika z zastosowanego taboru i w Polsce przyjmuje wartości 2,2 – 2,6 m.

Wydzielenie torowiska z jezdni związane jest z osiągnięciem następujących zalet:

---

<sup>1</sup> Rozdział ten powstał głównie na podstawie danych zamieszczonych w [55, 42, 41] i o ile nie zaznaczono w tekście inaczej to tam właśnie należy szukać źródeł podanych informacji.



- zwiększenie bezpieczeństwa ruchu,
- przyspieszenie ruchu tramwajów o 20 – 25 % (zależnie od odległości między przystankami),
- wydłużenie okresu eksploatacji toru,
- zmniejszenie hałaśliwości jazdy,

przy czym ulegają one zwiększeniu poza obszarami zabudowanymi.

Właściwym zakończeniem linii tramwajowej jest pętla, która pozwala na szybki nawrót pociągu. Gdy stacja końcowa jednej linii jest jednocześnie przelotową dla innych linii stosowane są pętle będące odgałęzieniami torów głównych. Na dużych stacjach końcowych stosowane są pętle o kilku torach postojowych i mijankowych. Dopuszcza się w szczególnych przypadkach wyposażenie stacji końcowej w trójkątny rozjazd końcowy, który umożliwia obrócenie pociągu. Rozjazdy trójkątne stosowane są zazwyczaj wtedy, gdy nie ma miejsca na inne rozwiązania i to zarówno dla układu o jednym jak i dwóch torach.

Na długich odcinkach jednotorowych stosować należy mijanki których wielkość uzależniona jest od używanego taboru. Najmniejsza odległość między mijankami na linii jednotorowej (mierzonej między środkami mijanek) wynosi 150 m, średnia – od 300 do 400 m a największa od 800 do 1000 m.

Za typowy promień krzywizny rozjazdu w Polsce można przyjąć  $R = 50$  m. Na szlaku stosuje się promienie od 25 do 2000 m. W niektórych przypadkach (np. w rozjazdach wąskich ulic) stosowano promienie do 16 m. Powodowało to jednak szybkie zniszczenie szyn oraz zgrzyty przy przejeździe taboru. Zasadniczo minimalny promień nie powinien być mniejszy od 8-krotnego rozstawu osi stałych wagonu, a w wagonach na wózkach – od 10-krotnego rozstawu osi wózka. Przy projektowaniu torów tramwajowych na łukach stosuje się przechyłki szyny zewnętrznej, której wielkość zależna jest od prędkości taboru, promienia skrętu oraz w przypadku torów wbudowanych w jezdnię przekroju jezdni.

Użytkowanie rozjazdów z krzyżownicami z ciętych szyn w węzłach o dużym ruchu trwa nie dłużej niż 5 lat – a krzyżownic z bloków stalowych – nie dłużej niż 9 lat. Budowa 1 km torów w rozjazdach jest czterokrotnie droższa niż budowa 1 km torów na szlaku.

Tor tramwajowy składa się z:

- nawierzchni stalowej:
  - szyny,
  - rozjazdy (zwrotnice, skrzyżowania, odcinki łączące),
- podbudowy:
  - podkłady lub inne elementy nośne,
  - tłuczeń, podsypki, beton, ...
- podłoża:
  - nasyp lub wykop,
  - mosty, wiadukty lub tunele,

oraz urządzeń odwadniających przeciwdziałających niszczeniu podłoża.

Szyny tramwajowe po 2 - 3 latach eksploatacji mają większą twardość główki szyny wskutek sprasowania materiału przez koła taboru (nowe szyny mają twardość główek 220 - 200 w skali Brinella). Stosuje się zarówno szyny kolejowe (np. S42, S49, w tym nawet cięższe szyny drugiego gatunku lub stare użyteczne) jak i szyny żłobkowe (tramwajowe) z kierownicą (zabezpieczenie żłobka od wewnątrz torów) pełniącą rolę odbojnicy w płaszczyźnie poziomej na szlaku prostym i zabezpieczającą ruch koła w żłobku na łuku.

Szyny tramwajowe są wykonane ze stali o dużej wytrzymałości (od 75 do 80  $kG/mm^2$ ) a waga 1 m szyny wynosi od 43 do 71  $kg$ . Najczęściej używana jest stal z domieszkami manganu, chromu, wanadu i niklu co zwiększa wytrzymałość szyn na ścieranie. Masa 1 m szyn kolejowych zawiera się między 36 a 50  $kg/m$ , a ich mniejsza masa wynika z braku żłobka i węższej stopki. Szyny kolejowe wykonuje się (podobnie jak szyny żłobkowe) ze stali z niewielkimi dodatkami węgla, manganu, krzemu, fosforu i siarki co korzystnie wpływa na wytrzymałość, ścieralność, zginanie itp. właściwości.

Ze względu na ciężkie warunki eksploatacyjne w torach tramwajowych stosowana może być specjalna stal o dużej wytrzymałości na górne części szyny, narażone na zużycie oraz stal bardziej miękka - na dolne części szyny (szyny dwuwarstwowe - przeważnie żłobkowe), co pozwala na blisko 4-krotne wydłużenie okresu eksploatacji.

Wymiana szyn przy ciężkim ruchu<sup>2</sup> następuje co 8 - 10 lat.

Dla uniknięcia wybijania przez koła szyn w krzyżownicy zmniejsza się rowki szyn, podwyższając koło na krzyżownicy co zmniejsza niszczenie krzyżownic przez brak uderzeń bandaży o główki szyn.

Podkłady drewniane, impregnowane węglębnie, użytkuje się w torach tramwajowych zależnie od obciążenia, rodzaju podłoża, sposobu odwodnienia i innych warunków lokalnych od 8 do 15 lat (średnio około 10 lat).

Podkłady z betonu zbrojonego produkuje się z betonu sprężonego, strunobetonu i kałobetonu. Ich trwałość szacowana jest na ponad 20 lat użytkowania. Wymagania względem podkładów używanych w torach tramwajowych są niższe niż w przypadku podkładów kolejowych co wpływa na ich zbędnie wysoki koszt zakupu lecz ze względu na względnie mały popyt<sup>3</sup> rozpatruje się zasadność ich stosowania.

Zakres badań eksploatacyjnych torów tramwajowych, mających na celu określenie ich przydatności w danych warunkach ruchu oraz ich trwałości użytkowej, obejmuje:

— rodzaj i częstotliwość napraw toru;

<sup>2</sup> Ruch ciężki: ponad 60 wagonów na godzinę (ponad 1800  $t/h$ ). Ruch średni: 20 - 45 wagonów na godzinę (600 - 1000  $t/h$ ). Ruch lekki: do 20 wagonów na godzinę (do 600  $t/h$ ).

<sup>3</sup> Podkłady sosnowe: 1000 - 1500  $szt./km$  w zależności od warunków eksploatacji i ruchu na danym odcinku, a w przypadku podkładów żelbetowych przy zmiennym ułożeniu podkładów (prostopadle i równolegle względem szyn) nawet 856  $szt./km$ .

- charakter zużycia i czas trwałości do koniecznej wymiany części konstrukcji lub całości toru;
- zależność zużycia toru od rodzaju obciążenia;
- wpływ warunków atmosferycznych na uszkodzenie toru;
- wpływ odwodnienia na trwałość toru;

i dla jego realizacji przeprowadza się:

- pomiary zużycia szyny;
- badania zużycia podkładów, podlewek i całej podbudowy toru;
- badania stanu zamocowania szyn i złączy;
- pomiary szerokości i osiadania toru;
- badanie stanu odwodnienia i zanieczyszczenia toru;
- badanie stabilności toru i ewentualnych zmian konstrukcyjnych,

których zestawienie dla różnych konstrukcji torów i różnych obciążeń pozwala na statystyczną klasyfikację poszczególnych rodzajów torów, na podstawie której można określić średnie okresy użytkowania torów i trwałość poszczególnych elementów.

Za średni okres użytkowania torów, na podstawie statystyk prowadzonych w wielu zakładach eksploatacji tramwajów, można przyjąć 10 lat. Okres użytkowania torów o bardzo dużym natężeniu ruchu jest krótszy. Większą trwałość mają tory na wydzielonym torowisku.

Większość koniecznych napraw i remontów była przy tym spowodowana zniszczeniem podłoża lub podbudowy i w chwili koniecznego remontu wytrzymałość głównych elementów konstrukcyjnych toru (szyny, podkłady) była określana jako dość duża. Wynika to w znacznej mierze ze stosowania szyn i podkładów typu kolejowego, przeznaczonych dla większych obciążeń i prędkości.

Na prace konserwacyjne w sieciach tramwajowych składają się:

- konserwacje torów:
    - kontrola stanu technicznego (stopień zużycia, uszkodzenia), przeglądy ogólne,
    - prace zapobiegawcze (zabezpieczenie przed nadmiernym zużyciem),
    - usuwanie uszkodzeń i zagrożeń o charakterze awaryjnym,
    - utrzymanie torowisk w czystości,
  - naprawy torów,
  - oczyszczenia stałe (szyn, torowiska) i sezonowe (odśnieżanie),
  - konserwacja urządzeń przytorowych (wysepki przystankowe itp.),
- związane z utrzymaniem torów w stałej sprawności eksploatacyjnej.

Przeglądy torów o charakterze stałym przeprowadzane są codziennie i swym zakresem obejmują wizualną ocenę toru. Przeglądy okresowe (ogłędziny, pomiary) stanu technicznego torów, zużycia elementów toru w stosunku do dopuszczalnych norm przeprowadzane

są na całej sieci torów przynajmniej raz w roku. Pozwalają one na kwalifikowanie poszczególnych odcinków do koniecznej planowej naprawy.

Podczas przeglądów okresowych sprawdza się:

- szerokość toru,
- przechyłki szyn na łukach,
- pochylenia pionowe i poprzeczne,
- prawidłowość krzywizn na łukach,
- stopień zużycia szyn (pionowe, boczne, faliste),
- przymocowanie szyn do podkładów,
- stopień zużycia podkładów,
- prawidłowość podbicia podkładów,
- stan podbudowy (przez lokalne odkrywki),
- stan odwodnienia,
- stan nawierzchni w torach,
- stan zużycia i uszkodzenia rozjazdów,

a wyniki oględzin, pomiarów i badań zamieszcza się w kartach przeglądu technicznego, które są podstawą do stwierdzenia potrzeby, rozmiaru i czasu napraw.

Ostateczne stwierdzenie potrzeby napraw następuje podczas komisyjnych przeglądów specjalnych.

Na prace konserwacyjne torów składają się m.in:

- naprawy drobne:
  - usuwanie drobnych usterek (dokręcanie śrub, wkrętów, itp.),
  - konserwacje złączy i rozjazdów (naprawianie większych niż dopuszczalne ubytków główek szyn i krzyżownic),
  - konserwacje zwrotnic (przegląd skrzynek zwrotnicowych, ich oczyszczanie i płukanie, smarowanie elementów ruchomych, sprawdzanie urządzeń nastawczych, sprawdzanie przylegania iglic itp.),
  - szlifowanie szyn (w miejscu stwierdzenia zużycia typu falistego),
- prace porządkowe o charakterze ciągłym:
  - oczyszczenie rowków szyn ze śmieci i kurzu pogarszających przewodność elektryczną i zwiększających tarcie,
  - smarowanie szyn na łukach,

które mają na celu maksymalne zmniejszenie procesów zużycia poszczególnych elementów toru.

Naprawy infrastruktury sieci tramwajowej można podzielić na:

- bieżące,
- średnie,
- główne,

w zależności od zakresu i rodzaju wykonywanych prac.

Naprawy bieżące polegają na naprawie zużytych lub uszkodzonych elementów albo ich wymianie w celu uniknięcia większych uszkodzeń i ich wpływu na inne elementy toru i stan podbudowy. Naprawy te mają charakter ściśle lokalny.

Naprawy średnie toru obejmują: ciągłą regulację torów w poziomie i pionie, lokalną wymianę szyn, krzyżownic lub zwrotnic, wymianę pojedynczych (lub grupy) podkładów, lokalną naprawę lub wymianę podbudowy i odwodnienia, naprawę nawierzchni lub wypełnienia toru.

Naprawy główne toru obejmują wymianę wszystkich lub przynajmniej jednego z podstawowych elementów konstrukcji toru: szyn, kompletnego rozjazdu, podbudowy oraz nawierzchni drogowej lub wypełnienia torowiska. Elementy toru nie podlegające wymianie powinny być w czasie naprawy głównej tak poprawione, aby cały odcinek miał przywróconą pełną sprawność techniczną.

Trwałości torów tramwajowych na terenie WPK w Katowicach:

1. trwałość torów tramwajowych na torowisku wydzielonym:

a) wydzielone tory tramwajowe na podkładach drewnianych;

trwałość podkładów drewnianych sosnowych powierzchniowo impregnowanych wynosi 15 – 16 lat; trwałość szyn kolejowych typu LBS-75 wynosi około 12 lat; częstotliwość remontów:

- i. na uszkodzeniach górniczych lokalne prace konserwacyjno-remontowe co rok,
- ii. ogólnie częstość remontów kapitalnych (głównych) średnio co 12-13 lat, w zakresie prac: wymiana szyn, renowacja lub wymiana podkładów, akcesoriów, oczyszczanie i uzupełnianie podsypki, regulacja toru w profilu i w planie; po upływie 3 lat po remoncie kapitalnym wykonuje się remont średni.

b) wydzielone tory tramwajowe na podkładach żelbetowych:

a uwagi na niedługi okres użytkowania (9 lat do chwili opublikowania danych) nie wynika jeszcze potrzeba przeprowadzenia remontu kapitalnego;

remonty bieżące: po upływie 1-go roku eksploatacji wykonuje się podbicie podsypki, a następnie co 3 lata remont w zakresie robót: podbicie podkładów, regulacja prześwitu szyn i ściąganie poprzeczek stalowych;

na terenie GOP-u z uwagi na duże zapylenie i zanieczyszczenie powietrza składnikami agresywnymi należy malować stalowe łączniki podkładów typu  $L_B$  co 2 lata.

2. trwałość torów tramwajowych w jezdni ulicznej:

- a) nawierzchnie tramwajowe o konstrukcji: szyna na podbudowie tłuczniowo-kamiennej; ubudowane w jezdnię uliczne nawierzchnie tramwajowe o konstrukcji: szyna na podbudowie tłuczniowo-kamiennej w warunkach eksploatacji na terenie WPK w

Katowicach posiadają żywotność do 8 lat, głównie z uwagi na żywotność szyny; remonty bieżące i średnie przeprowadza się z częstotliwością:

- i. przy zabudowie torów kostką uliczną: pierwszy po upływie 3 lat od czasu budowy, a następne w odstępach co 2 lata,
  - ii. przy zabudowie torów płytami żelbetowymi: pierwszy remont po upływie 5 lat, a potem drobne naprawy szczególnie lokalnych zapadlisk,
  - iii. na terenie szkód górniczych silnie zależnie od powstałych deformacji podtorza – nawet co roku,
- b) wbudowane w jezdnię tory tramwajowe na podbudowie tłuczniowej wzmocnionej warstwą asfaltobetonu (stosowane w chwili opublikowania danych od 5 lat); nie stwierdzono konieczności przeprowadzenia nawet remontów bieżących podbudowy,
- c) wbudowane w jezdnię uliczne tory tramwajowe na podłożu z płyt betonowych (stosowane w chwili opublikowania danych od 5 lat na odcinku eksperymentalnym); sporadyczne wymiany zużytych lokalnie żelbetowych płyt nawierzchniowych,

zgodnie z przedstawionymi danymi warunkują oraz uzasadniają wybór stosowanego rozwiązania konstrukcyjnego, zwłaszcza na terenie szkód górniczych.

Nawet rozwiązania mało trwałe wybrane mogą być w przypadku występowania szkód górniczych jako najbardziej odpowiednie.

W odmiennych warunkach zewnętrznych (głównie brak szkód górniczych, duża liczba mostów) eksploatowane są torowiska we Wrocławiu.

Remonty bieżące nawierzchni tramwajowych z podkładami drewnianymi na torowisku wydzielonym wykonywane są z częstotliwością przeciętnie 3-5 lat, choć są odcinki torów na których zachodzi konieczność remontów bieżących w odstępach corocznych. Częstotliwość remontów zależy od całokształtu czynników związanych z intensywnością ruchu, rodzajem taboru oraz techniczno-konstrukcyjnym stanem nawierzchni (głównie nośnością gruntów podtorza i warunkami gruntowo-wodnymi). W zakresie prac remontów bieżących wykonuje się podbijanie toru oraz regulację w profilu i planie.

Remonty średnie nawierzchni wydzielonych na podkładach drewnianych obejmują swym zakresem: częściową wymianę akcesoriów, szersze prace podbijania i regulacji toru wraz z uzupełnieniem lub częściową wymianą podsypki.

Remonty kapitalne nawierzchni wydzielonych na podkładach drewnianych obejmują przede wszystkim wymianę szyn, kompleksowe roboty podbijania toru oraz regulacji toru w profilu i w planie, a także wymianę i uzupełnianie tłucznia. Częstość remontów kapitalnych warunkowana jest intensywnością ruchu, rodzajem konstrukcji nawierzchni i nośnością gruntów podtorza itp. Remonty kapitalne wykonuje się na ogół nie częściej niż co 12 - 15 lat, a na prostszych odcinkach torów, o średnim lub małym ruchu, dobrze

zbudowana i starannie bieżąco utrzymana nawierzchnia nie wymaga kapitalnego remontu nawet na przeciągu 15 - 20 lat.

Remonty kapitalne wbudowanych nawierzchni tramwajowych z szyną opartą na ławie betonowej wykonywane są co 5 - 6 lat, przede wszystkim z uwagi na zniszczenie sztywnej podbudowy betonowej, w postaci rozkruszania się betonowego podbicia szyny oraz załamów w betonowej płycie podbudowy. Żywotność szyny w tym typie konstrukcji wynosi średnio 10 lat.

Remonty bieżące wbudowanych nawierzchni tramwajowych z szyną opartą na ławie betonowej wykonuje się średnio co 2 lata, choć są odcinki torów, gdzie wymagane są remonty bieżące co rok. W zakresie remontów bieżących wykonuje się lokalne naprawy załamów bruku i naprawę odwodnienia.

Remonty bieżące wbudowanych nawierzchni tramwajowych na podbudowie betonowej, z podlewką asfaltową pod szyną wykonywane są co 4 lata. W ramach tych remontów uzupełnia się lokalne ubytki asfaltu lanego w wierzchniej warstwie ściernej, występujące wzdłuż linii styku dywanika asfaltowego z szynami.

Trwałość poszczególnych konstrukcji nawierzchni tramwajowych na mostach jest w zasadzie identyczna jak konstrukcji torów podobnych typów wbudowanych w jezdnie ulic. Nawierzchnie z szyną posadowioną na sztywnej ławie betonowej muszą być poddawane kapitalnym remontom po upływie około 6 lat, z uwagi na zniszczenie betonowej podbudowy. Żywotność konstrukcji nawierzchni z szyną posadowioną na podatnym podłożu w postaci podlewki asfaltowej jest znacznie dłuższa.

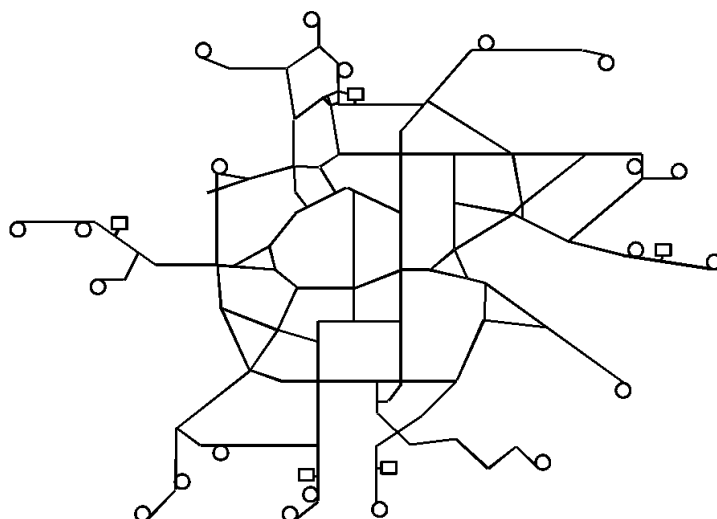
Celem przedstawionego opisu oraz podstawowym kryterium doboru informacji przy zamieszczaniu ich w treści było zobrazowanie charakteru prac przeprowadzanych na tym etapie analizy oraz przedstawienie przekrojowego obrazu rozpatrywanego systemu eksploatacji. Z tego powodu, oraz z uwagi na ograniczone ramy akceptowalnej objętości prezentowanej pracy, przedstawiony materiał został streszczony i wyselekcjonowany względem faktycznie przeprowadzonych badań.

### 5.1.2. Identyfikacja systemu

Infrastruktura torowa we Wrocławiu sięga swymi początkami do roku 1878, kiedy oddano do użytku pierwszą linię tramwajów konnych kursujących na trasie Krasińskiego – Ogród Zoologiczny. We Wrocławiu również uruchomiono, w roku 1893, pierwsze na obecnych ziemiach polskich tramwaje elektryczne. [23]

Szczegółowe badania tego systemu opierają się na rejestracji jego działania w okresie od 10 grudnia 2005 do 31 grudnia 2006.

Uproszczony obraz układu torowego (mapa poglądowa pozwalająca na prezentację w dużej skali) przedstawiony został na rysunku 5.1, zaś bardziej precyzyjne jego odzwiercie-



Rysunek 5.1. Poglądowa (uproszczona) mapa układu torów tramwajowych we Wrocławiu

dlenie (z zachowaniem relacji odległości oraz skróconym oznaczeniem modułów) zawarte zostało na rysunku F.18 (str. 272).

W czasie objętym analizą dokonana została jedna modyfikacja systemu torowego, której konsekwencją było dodanie modułu (76, 41) do wcześniejszego układu (rys. F.15) oraz zmiana w tablicy następstw odcinków (str. 269).

W sieci ruch odbywał się zgodnie z wyznaczonymi liniami normalnymi, na których realizowane były przewozy pasażerów według tras (rys. F.15) opisanych na liście L-02 (str. 221) uzupełnianych o linie zastępcze 70, 71, 72, 73, 76, 78, 79 oraz trasy będące realizacjami objazdów wyłączonych odcinków sieci.

Obsługa linii normalnych realizowana była w badanym okresie głównie dwoma rodzajami wagonów 102Na (32 + 150 miejsc) oznaczone dalej jako T102 i 105N/105Na (20 + 105 miejsc) – oznaczone jako T105, przy czym wagony T105 występowały pojedynczo lub po dwa połączone. W szczególności były to:

0P: 54 kursy T105+T105 (2xT105), 31 kursy T102,

0L: 84 kursy 2xT105,

01: 87 kursy 2xT105,

02: 36 kursy 2xT105, 68 kursy T102,

03: 94 kursy 2xT105, 2 kursy T102,

04: 82 kursy 2xT105, 4 kursy T102,

05: 88 kursy 2xT105, 2 kursy T102,

06: 90 kursy T102,

07: 74 kursy 2xT105, 20 kursy T102,

08: 78 kursy 2xT105,



Tabela 5.1. Zmiany przebiegu linii tramwajowych we Wrocławiu (2001 – 2006) [78]\*

Rok	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Liczba zmian układu linii tramwajowych	39	56	38	31	31	26
Średnia liczba zmian trasy jednej linii	3,9	7,4	6,1	3,1	5,3 <sub>M</sub> /5,4 <sub>Z</sub>	4,0 <sub>M</sub> /4,1 <sub>Z</sub>
Średni czas kursowania zmienioną trasą (w dniach)	97	90	146	154	237 <sub>M</sub> /240 <sub>Z</sub>	224 <sub>M</sub> /238 <sub>Z</sub>

\*Aktualizacja danych z 2006r: <http://www.historia.transport.pwr.uroc.pl/miejski/wroclaw/trrem/> (stan: czerwiec 2009r)

gdzie: *M* - dane wg MPK, *Z* - dane wg ZDiK.

09: 85 kursy 2xT105, 2 kursy T102, 2 kursy T105,

10: 98 kursy 2xT105,

11: 83 kursy 2xT105, 12 kursy T102,

12: 83 kursy 2xT105,

14: 39 kursy 2xT105, 53 kursy T102,

15: 92 kursy 2xT105,

16: 36 kursy 2xT105, 39 kursy T105,

17: 75 kursy 2xT105, 16 kursy T102,

20: 88 kursy T102,

21: 83 kursy 2xT105,

22: 87 kursy 2xT105, 2 kursy T102,

23: 89 kursy 2xT105,

24: 31 kursy 2xT105, 60 kursy T102,

w ciągu jednej doby dla obsługi zidentyfikowanych potoków pasażerskich na liniach normalnych. W roku 2005 przekazano do użytku Protram 204WrAs jednak ze względu na ich znaczenie oraz to, że tabor nie jest przedmiotem niniejszej pracy zostały pominięte. Tramwaje Protram 205 WrAs choć przekazane MPK w 2006 roku do przewozów pasażerskich używano od stycznia 2007 roku.

Zarówno w badanym okresie jak i czasie go poprzedzającym system komunikacji tramwajowej we Wrocławiu charakteryzował się ciągłą niestabilnością układu połączeń (tab. 5.1). Podczas wyłączeń odcinków sieci tramwajowej duży nacisk kładzie się na utrzymanie przejezdności dla samochodów osobowych, których przyjęty priorytet jest większy niż wynika to z ich znaczenia w transporcie w mieście. Same remonty charakteryzują się coraz dłuższym czasem wykonania porównując prace o tym samym zasięgu z różnych lat. Zmiany tras wykonuje się zbyt często i ze zbyt błahych powodów. Dodatkowo sytuację potęguje brak zgodności co do przebiegu tras stałych oraz harmonogramu prac pomiędzy MPK i ZDiK. [78]

Identyfikacja rodzajowa systemu tramwajowego we Wrocławiu, zgodnie z przytoczoną

charakterystyką tego etapu, powinna zawierać przegląd konstrukcji i technologii wykonania torowisk tramwajowych<sup>4</sup>.

W zakresie torowisk wydzielonych do roku 1965 standardem była nawierzchnia na podkładach drewnianych (sosnowych). Stosowano szyny kolejowe (S42 lub S49) lub rowkowe (180W lub 180S). Od wyznaczonego roku stosować zaczęto podkłady żelbetowe, które nie cieszyły się początkowo dużą popularnością zastosowania. Na początku stosowane były poza obszarami zabudowy mieszkalnej. Od 1993 stosuje się podkłady struno-betonowe z przytwierdzeniem sprężystym SB-3 (np. wzdłuż ulicy Bałtyckiej - 1993). W odniesieniu do podkładów drewnianych w przypadku stosowania podkładów strunobetonowych uzyskano większą trwałość, ograniczenie emisji drgań i hałasu oraz większą niezawodność przytwierdzenia. Nie zrezygnowano jednak całkowicie ze stosowania szyn S49 na podkładach drewnianych.

Od roku 2001 wykonuje się zabudowę wydzielonego torowiska tramwajowego (wzdłuż pl. Grunwaldzkiego na odcinku od mostu Szczytnickiego do skrzyżowania z ul. Piastowską - 2001), umożliwiającą prowadzenie po nim ruchu drogowego (autobusów i pojazdów uprzywilejowanych).

Od roku 1999 stosuje się również, poza samochodowymi przejazdami poprzecznymi oraz przejściami pieszymi przez torowisko, konstrukcję torowiska zabudowanego typu klasycznego - na podsypce i poprzecznych podkładach z zabudowaną nawierzchnią typu drogowego (np. skrzyżowanie ul. Hallera i Mieleckiej - 1999).

W zakresie torowiska zabudowanego w jezdnię jako pierwsze rozwiązanie należy wyróżnić model konstrukcji toru zabudowanego opracowanego przez wrocławskie MPK przy współpracy z Instytutem Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej (np. ul. Sienkiewicza od mostu Szczytnickiego do ul. Wyszyńskiego - 1989). Podbudowę stanowiła płyta betonowa albo warstwa zagęszczonego tłucznia o grubości 20-30 cm na której układano szyny 180W lub S i łączono poprzeczkami torowymi z płaskownika. Pod stopkami szyn stosowano trapezowe ławy o grubości 6cm z gryśów otoczonych asfaltem. Zabudowę śródtorza i międzytorza stanowiły prefabrykowane płyty żelbetowe, pokryte warstwą asfaltu. W miejsca o ograniczonej wysokości konstrukcyjnej (np. mosty) asfaltobetonowe ławy podszynowe zastępowano niższymi podlewkami z mastyksu (np. ul. Grabiszyńska od ul. Pereca do pl. Srebrnego - 1991). Niska trwałość ław asfaltobetonowych spowodowała ich późniejsze zastąpienie betonowymi.

Od roku 1987 stosowano we Wrocławiu tor z płytami PPT (wzdłuż ul. Jedności Narodowej - 1987). Prefabrykowane płyty żelbetowe układano na warstwie wałowanego piasku. W kanałach szynowych płyt umieszczano szyny rowkowe połączone poprzeczkami, spoczywające w strefach podparcia na stalowej podkładce żebrowej przymocowanej

<sup>4</sup> O ile nie zaznaczono w tekście inaczej, źródłem danych jest [58].

do płyty śrubami hakowymi z pierścieniem sprężystym i nakrętką. Szyne do podkładki żebrowej mocowano akcesoriami kolejowymi, zaś między nimi umieszczano przekładkę topolową, a pod podkładką żebrową - z drewna twardego. Mimo prefabrykacji była to metoda czasochłonna, pracochłonna i kosztowna. W trakcie eksploatacji tego rozwiązania zaobserwowano lokalne zapadnięcia toków szynowych, wykruszanie się asfaltu w strefie przyszynowej oraz znaczny hałas. W roku 1999 w wyniku ekspertyzy przeprowadzonej przez Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej wskazano m.in. na liczne wady konstrukcyjne tego rozwiązania.

Dokonana w 1992 modyfikacja konstrukcji torowiska zabudowanego w jezdnię (np. ul. Sądowa - 1992) obejmowała wykorzystanie ław betonowych w strefie podszynowej, zbrojonych siatką z prętów, łapki sprężyste specjalnej konstrukcji oraz gumową taśmę podszynową. Stan wykonanych odcinków zależał od miejsca wykonania i oceniany był jako dobry w okresie kilkuletniego użytkowania do wystąpienia miejscowych zapadnięć toków szynowych i ucieczki masy zalewowej w głąb torowiska już po okresie jednego roku eksploatacji w przypadku ul. Piłsudskiego.

Od 1994 (np. ul. Grabiszyńska na odcinku od pl. Srebrnego do Hutmenu - 1994) stosowano konstrukcję torowiska w której po raz pierwszy wykonano drenaż odwadniający torowiska zabudowanego w jezdnię, zabudowę komór szynowych prefabrykowanymi blokami betonowymi, zabudowę strefy przyszynowej chodnikową kostką z betonu wibroprasowanego oraz kotwienie szyny do podbudowy łapkami i wkrętami kolejowymi z pierścieniami sprężystymi, wkręcany przez dyble umieszczone w betonowej podbudowie (na zasadzie kołków rozporowych). Jako wibroizolację wykorzystano pasy gumy profilowanej oraz zrezygnowano z łączenia szyn poprzeczkami torowymi. Rozwiązanie to charakteryzowało się szybko postępującym zużyciem co powodowane było m.in. błędami konstrukcyjnymi, co doprowadziło do zaprzestania stosowania tego typu torowiska.

Od roku 1994 (ul. Łokietka i Poniatowskiego - 1994) stosowano typ toru węgierskiego, charakteryzujący się w porównaniu do konstrukcji wcześniej wykorzystywanych przede wszystkim użyciem szyny blokowej, podparciem szyny w prefabrykowanej płycie żelbetonowej za pośrednictwem gumowej rowkowej taśmy podszynowej oraz ciągłe przytwierdzenie szyny gumowymi wstęgami mocującymi o przekroju elipsy, wciśniętymi pomiędzy szynę i krawędź koryta szynowego w płycie. Ze względu na koszty ochrony patentowej był to właściwie zamiennik konstrukcji węgierskiej zapożyczając jedynie ideę samego rozwiązania, co zaowocowało zrezygnowaniem z wielu zalet rozwiązania oryginalnego i w połączeniu z występującymi wadami (utrudniony dostęp do infrastruktury podziemnej, brak możliwości stosowania w rozjazdach, klawiszowanie płyt, ...) spowodowało stopniowe zaprzestanie stosowania tego typu konstrukcji.

W roku 1996 zastosowano konstrukcję toru na punktowych podporach (ul. Powstańców Śląskich od ul. Piłsudskiego do Hotelu Wrocław - 1996), której nowością było zastosowanie

szyny rowkowej Ri90N zamiast 180S, podparcie szyny w sposób punktowy z wykorzystaniem podkładek PT180 i epoksydobetonowych podpór, zastosowanie elastomeru na przekładki pomiędzy stopką szyny a podkładką żebrową i pod podkładką żebrową, wykorzystanie łapek skl112 do przytwierdzeń szyn, spawanie termitowe szyn, zaspoinowanie całego wierzchu kostkowej zabudowy torowiska bitumiczną masą zalewową.

W 1996 r. zastosowano rozwiązanie wzorowane na konstrukcji torowiska z Sheffield w Anglii będące modyfikacją toru z płytami PPT (wzdłuż ul. Curie-Skłodowskiej - 1996). Szyny z komorami szynowymi zabudowanymi prefabrykowanymi blokami betonowymi, zalane żywicą poliuretanową w korytkach z blachy o grubości 3 mm, ułożono w korytkach płyt PPT i zabetonowano. Nawierzchnię stanowiła warstwa asfaltobetonu. Główną wadą było brak stabilności podbudowy z płyt PPT posadowionych na warstwie piasku, co spowodowało relatywnie szybkie niszczenie odcinka na którym zastosowano to rozwiązanie.

W roku 1997 konstrukcję tą zmodyfikowano (skrzyżowanie ul. Świdnickiej i Podwale wraz z pl. Kościuszki - 1997) przez zastosowanie przekładki gumowej, rezygnację z epoksydobetonowych podpór oraz kostki betonowej w strefie przyszynowej, kotwienie podkładek żebrowych przy pomocy kolejowych wkrętów i dybli oraz zastosowanie bitumicznej masy zalewowej jedynie w przestrzeniach przyszynowych. Zmianom tym towarzyszyła zmiana kolejności wykonania: najpierw montowano ruszt torowy a dopiero później wykonywano betonową płytę podbudowy. Rozwiązanie to z drobnymi modyfikacjami stosowane było często jako alternatywne dla toru typu węgierskiego. Głównymi wadami były: duża wysokość konstrukcyjna, utrudniona wymiana szyn, długi czas wykonania, niski stopień prefabrykacji i mechanizacji.

W roku 1999 (ul. Karkonoska na odcinku pomiędzy ul. Letnią i Wiosenną - 1999) zastosowano konstrukcję toru z szynami obłożonymi wkładkami gumowymi charakteryzujące się wysokim stopniem izolacji elektrycznej oraz niskim poziomem emisji drgań i hałasu do otoczenia.

W roku 2000 po raz pierwszy zastosowano we Wrocławiu konstrukcję toru zabudowanego w postaci prefabrykowanej wielkowymiarowej płyty żelbetowej, z osadzonymi w korytkach płyty szynami rowkowymi w zalewie z żywicy z gumą (skrzyżowanie ul. Kosmonautów i Kamiennogórskiej - 2000). Konstrukcję tą modyfikowano m.in. przez zastąpienie jednej płyty torowej dwoma blokami - osobnymi dla każdego toku szynowego, połączonymi poprzecznie stężeniami z rur stalowych, natomiast podłużnie - blachami łubkowymi, skręcanymi na śruby.

W roku 2000 również po raz pierwszy we Wrocławiu zastosowano w torowisku tramwajowym ciągły podlew pod stopką szyny z materiału poliuretanowego (most Piaskowy - 2000). Jako koryto dla wykonania podlewu posłużyły ceowniki zespolone z konstrukcją pomostu, ułożone ramionami do góry wzdłuż stopek szyn.

Przedstawiony opis zastosowanych konstrukcji i technologii wskazuje, iż sieci tram-

Tabela 5.2. Liczba następujących dany moduł sieci modułów za węzłem

Liczba modułów występujących za danym modułem	2005.12.10	2006.07.18
	2006.07.17	2006.12.31
1 → 0 *	39	39
1 → 1 **	92	91
1 → 2 ***	138	139
1 → 3 ****	12	12
1 → 4+ *****	0	0

\*Dany moduł jest modułem końcowym i nie ma następującego po sobie na trasach, najczęściej będzie występować na pętli lub zajezdni. Możliwość kontynuacji jazdy na pętli i w zajezdni w drugim kierunku linii pomija się celowo (m.in. dla algorytmów poszukiwania tras lub sprawdzania poprawności wyznaczonej trasy) a jeśli jest to konieczne to dla tego przypadku należy utworzyć odrębną tabelę następstw (w prezentowanej pracy nie stwierdzono takiej potrzeby). \*\*Za pojedynczym modułem po przejściu przez węzeł sieci następuje jeden moduł. \*\*\*Za pojedynczym modułem po przejściu przez węzeł sieci występują dwa alternatywne moduły. \*\*\*\*Za pojedynczym modułem po przejściu przez węzeł sieci występują trzy alternatywne moduły. \*\*\*\*\*Za pojedynczym modułem po przejściu przez węzeł sieci występują cztery lub więcej alternatywne moduły.

wajowe są systemami sztywnotorowymi, zgodnymi z prezentowaną w pracy definicją a wrocławskie torowiska nie odbiegają konstrukcyjnie od typowych rozwiązań stosowanych w tego rodzaju systemach.

Istotne przy rozpatrywaniu sieci sztywnotorowych jest ich zakwalifikowanie do odpowiadającej im grupy ( $0r$ ,  $1r$ ,  $2r$ ,  $kr$  gdzie  $k > 2$ ).

W sieci wrocławskiej wydzielono dwieście osiemdziesiąt jeden modułów. Rozpatrując tabele następstw odcinków (str. 269) zidentyfikowano (tab. 5.2) przynależność tej sieci do grupy  $2r$  zgodnie z przedstawioną w rozdziale trzecim klasyfikacją sieci sztywnotorowych. Występujące w liczbie dwunastu następstwa trzech alternatywnych modułów pojawiają się w zestawieniu ze względu na uproszczenie lokalnej topologii sieci i jest wynikiem agregacji węzłów prostych (upraszczanie lokalnej topologii sieci poprzez agregację węzłów prostych opisano w rozdziale trzecim).

Tabela *następstw odcinków* (str. 269) celowo pomija możliwość kontynuacji jazdy na pętli i w zajezdni w drugim kierunku linii (główna tabela następstw odcinków zawiera moduły tras pomiędzy odcinkami krańcowymi linii i nie obejmuje pętli i zajezdni). Jest ona bowiem przygotowana do analizowania ruchu na liniach dla których przydatne jest to pominięcie, ze względu na m.in. algorytmy poszukiwania tras i sprawdzania poprawności wyznaczanych dróg linii.

Opisywana sytuacja występuje zazwyczaj w miejscach „wejścia i wyjścia (do/z) sieci”. Gdy stwierdza się uzasadnioną potrzebę oznaczanie możliwości kontynuacji jazdy na pętlach, w zajezdniach i w tym podobnych przypadkach, należy utworzyć odrębną tabelę następstw. W prezentowanej pracy nie stwierdzono potrzeby (ze względu na cel i charakter oceny sieci) opisu następstw odcinków na końcach tras (linii normalnych, zastępczych i tras wynikających z realizacji objazdu).

Ze względu na czytelność danych opisujących sieć dokonano, w przypadku tabeli *początkowych węzłów logicznych na odcinkach krańcowych sieci* (str. 269) oraz *krańce tras na odcinkach krańcowych sieci* (str. 269), ich wyróżnienia wydzielając je jako osobne zestawienia, choć stanowią tabele następstw tego samego rodzaju co główna tabela następstw (szerszy opis zagadnień związanych z projektowaniem sieci sztywnotorowych zamieszczony został w następnym rozdziale).

Ponadto, wrocławska sieć tramwajowa posiada długość, mierzoną jako suma długości modułów, wynoszącą 167742<sup>5</sup> m. Średnia długość linii (mierzona długością modułów sieci) wynosi  $\sim 11737$  m. Na obszarze sieci wyznaczono czterdzieści dwie linie normalne obsługujące trzysta czterdzieści dwa punkty nadania/odbioru (przystanki).

### 5.1.3. Projektowanie modelu systemu

Jak przedstawiono wcześniej, wrocławska sieć torowisk tramwajowych jest typową siecią sztywnotorową  $2r$ . Czyli może być ona jako taka modelowana. Realizacja ruchu wg wyznaczonych linii umożliwia jej ocenę zgodnie z proponowanym modelem oceny efektywności. Zakwalifikowanie wrocławskiej sieci tramwajowej jako sieci  $2r$  jest bardzo istotne z powodu ilości tras alternatywnych występujących w sieci. Pozwala to na znaczne uproszczenie złożoności analizy sieci, co z kolei pozwala na numeryczne wyznaczanie najlepszych rozwiązań spośród wszystkich znaczących scenariuszy. Uproszczenie to jest istotne z powodu konieczności rozwiązywania grafów, któremu towarzyszy przetwarzanie danych charakteryzujące się znaczną czasochłonnością - przy czym wzrasta ona bardzo znacząco w miarę zwiększania rozmiarów grafu.

Projektowanie modelu rzeczywistego systemu sieci sztywnotorowej rozpocząć należy od wyznaczenia jej węzłów. Węzły wrocławskiej sieci tramwajowej występujące pomiędzy odcinkami krańcowymi tras zostały wyróżnione na podstawie dwóch podstawowych kryteriów:

1. miejsca występowania skrzyżowań dróg sieci,
2. miejsca znaczącej zmiany charakterystyki odcinka (pomiędzy skrzyżowaniami dróg sieci),

które po nałożeniu na mapę topologii sieci opisują system rzeczywisty. Połączenie węzłów, zgodnie z możliwymi pomiędzy nimi trasami, dało obraz układu sieci przedstawiony na stronie 269. Dany odcinek pomiędzy dwoma węzłami może być modelowany, jednym lub dwoma modułami, w zależności od tego czy ruch prowadzony jest w jednym lub w dwóch kierunkach.

---

<sup>5</sup> Nie jest to długość torowisk sieci. Różnica nie wynika tylko z dokładności pomiaru lecz głównie z faktu iż dany odcinek pojedynczego rzeczywistego toru może być modelowany zarówno jako jeden jak i dwa moduły w zależności od tego czy ruch na tym torze prowadzony jest w jedną lub dwie strony.

Przykładem dla drugiego kryterium wyróżniania węzła sieci może być węzeł 55. Występuje on w miejscu, gdzie tor podwójny odcinka 104 przechodzi w tor pojedynczy odcinka 105.

Dokładnego rozpatrzenia wymagają odcinki torów na pętlach oraz w zajezdniach. Odcinki te mogą być rozpatrywane jako wejściowe/wyjściowe dla linii do/z sieci torowej miasta. Wynika to m.in. z tego, że ruch nie jest prowadzony przez całą dobę i w okresie nocnym tramwaje są wprowadzane do zajezdni oraz, że na pętlach (części z nich) występują dodatkowe tory postojowe umożliwiające zmianę kolejności tramwajów jak i ich odstawienie, okresowo wyłączając z ruchu w sieci.

W sytuacji ogólnej, modelowej, przedstawionej na rys. 4.13 miejsca te modelowane były dotychczas jako pojedyncze moduły. W przypadku sieci tramwajowych pojawiają się jednak następujące trudności:

- występowanie dodatkowych torów postojowych,
- określenie przynależności toru (jego części) do danego kierunku ruchu na linii (punktu przejścia toru należącego do danego kierunku linii w trasę powrotną),
- nieokreśloności toru dla trasy na torach postojowych zajezdni i pętli (nie ma pewności, którym z wielu alternatywnych torów pojedzie dany tramwaj),

które wymuszają adaptację modelu do warunków specyficznych sieci tramwajowych.

Sytuację tą rozwiązało dodanie węzłów logicznych na rozpatrywanych odcinkach oraz odpowiednia ich charakterystyka. Dodanie węzłów logicznych podzieliło odcinki krańcowe torów tras na dwie części (dwa moduły). Jeden z modułów jest początkowym a drugi końcowym tras.

Pamiętać należy, że dodane zostały tylko węzły logiczne i dlatego na jednym odcinku występują dwa węzły, przy czym jeden kierunek ruchu na pętlach powoduje, że obydwie węzły umieszczone są na tym samym końcu odcinka. Zatem moduły (301,201) i (301,501) nie są równoległe, jak odczytano by to dla odcinków trasy w sieci lecz nałożone na siebie. Z uwagi na to, że może być to czasami mylące, oraz dla dodatkowego poprawienia nawigacji przyjęto zakresy numeracji:

1 – 299: odcinki tras sieci,

301 – 399: odcinki na pętlach,

401 – 499: odcinki w zajezdniach,

a dla wyraźnego wyróżnienia poszczególnych rodzajów węzłów:

1 – 199: węzły tras sieci,

201 – 299: węzeł krańca sieci (przy pętli),

501 – 539: węzeł początku linii (pętla, węzeł logiczny),

541 – 549: węzeł początku trasy (zajezdnia, węzeł logiczny),

tworzące schemat nazewniczy odcinków i węzłów.

Moduły te, z uwagi na pozostający problem wyznaczenia punktu podziału, ze względu

na przynależność do danego kierunku jazdy na linii (dlatego zostały nałożone na siebie), mają długość 0 co jest bardziej poprawne w interpretacji niż subiektywny podział, lub podział na dwie równe części (część pętli posiada układ torów wskazujący na niewątpliwą asymetrię podziału). Pomimo tego, że tory te posiadają zerową długość, nie można ich pominąć. Mogą na nich występować punkty nadania/odbioru (przystanki) lub inne charakterystyki szczegółowe modułów. Występują one fizycznie i dlatego konieczne jest zachowanie możliwości oznaczenia ich jako wyłączone, co wpływa na warunki prowadzenia ruchu w sieci.

W ten sposób otrzymano graficzny obraz torowego układu sieci o pewnym (nieznanym) stopniu agregacji węzłów prostych<sup>6</sup> (mapa na str. 269).

Przedstawiony graficzny obraz sieci jest ważnym narzędziem poglądowym oraz punktem wyjścia dla dalszych prac lecz właściwy model układu torowego stanowią tablice następstw odcinków. Dla danej sieci może występować więcej niż jedna taka tablica, lecz wszystkie są tego samego rodzaju a ich wyróżnienie jest podyktowane przyjętymi celami w analizie sieci. W przypadku sieci tramwajowych wyróżniono: główną tabelę przejść oraz dwie uzupełniające. Z uwagi na zmieniający się w czasie układ torów dla każdej zaobserwowanej topologii sieci występuje odrębny zestaw tablic danego rodzaju, oznaczony czasem którego dotyczy<sup>7</sup>.

Główna tabela następstw odcinków (*następstwa odcinków* - str. 269) określa możliwe przejścia pomiędzy odcinkami dla modułów sieci znajdujących się pomiędzy odcinkami krańcowymi tras.

Dodatkowo wyróżniono tablice dla początkowych i końcowych modułów tras (str. 269). Rozróżnienie ich wynika z faktu, że dla początkowych modułów konieczne jest dodanie modułów logicznych będących konsekwencją opisanego podziału odcinków toru na pętlach i w zajezdniach. W przypadku końcowych modułów występuje zaś możliwość wielowariantowego ich opisanie w zależności od celów prowadzonej analizy.

W pracy pominięto możliwe przejścia pomiędzy końcowymi i początkowymi modułami tras (wartość *koniec* w tablicy *końce tras na odcinkach krańcowych sieci* na stronie 269). Jest to przydatne w przetwarzaniu danych dla m.in. algorytmów wyznaczania tras sieci oraz sprawdzania ich poprawności. Oznaczenie następstw dla modułów końcowych tras, w przypadku stwierdzenia zasadności ich określenia, stanowić powinno odrębną tablicę. W pracy, ze względu na przyjęte cele analizy nie stwierdzono potrzeby dodania tej tablicy.

<sup>6</sup> Stopień agregacji i jego właściwy poziom zostanie określony później.

<sup>7</sup> W rozpatrywanym przedziale czasu wystąpiła niewielka zmiana w układzie torów. W zestawieniu na stronie 269 dla polepszenia czytelności przedstawiono tylko jedną główną tabelę następstw a zmianę oznaczono legendą. W procesie przetwarzania danych wykorzystywane były osobne tablice następstw odcinków dla każdego okresu.



W tym miejscu należy zwrócić uwagę na notację zastosowaną dla modułów i jej konsekwencje praktyczne. Oznaczenie modułu (odcinek, węzeł bazowy) można technicznie potraktować jako liczbę zmiennoprzecinkową. W ten sposób uzyskiwany jest prosty dostęp do występujących na trasie kolejnych odcinków (część całkowita liczby) oraz węzłów (reszta dziesiętna z liczby), co jest bardzo przydatne w przetwarzaniu danych sieci.

Powstałe tablice następstw wymieniają wszystkie występujące w danym czasie moduły sieci. Na podstawie tablic następstw odcinków, powinna być utworzona lista modułów sieci (możne się to odbywać automatycznie) w danym układzie torowym, co staje się przydatne w przetwarzaniu danych. Listę tę użyć można jako szablon do opisu charakterystyk uzupełniających odcinków. W przypadku rozpatrywanego systemu charakterystykami tymi są długości modułów (str. 270) oraz liczba przystanków na każdym z modułów (str. 271).

Jak przedstawiono to już w tabeli 5.2 (str. 136), zapisany w tablicach następstw odcinków układ torowy charakteryzuje się pewnym stopniem agregacji węzłów prostych. W przypadku rozpatrywanej sieci na występujący stopień agregacji wskazuje pojawienie się w niej dwunastu przejść typu  $3r$ . Po zidentyfikowaniu tych przejść, sprawdzono czy aby na pewno wynikają one z agregacji a nie z wyższego stopnia grupy do której ta sieć należy. To, że we Wrocławiu nie stosuje się rozjazdów umożliwiających kontynuację jazdy w trzech alternatywnych kierunkach z jednego punktu toru potwierdza od strony technicznej, że jest to sieć należąca do grupy  $2r$ .

Dane o długościach modułów stanowiące zawartość tablicy *długości odcinków* (str. 270) wyznaczono z pomocą API (Application Programming Interface) usługi Google Maps na przygotowanej do tego celu stronie internetowej<sup>8</sup>.

Liczba przystanków przypadająca na każdy z modułów (tabela *przystanki* na stronie 271) zliczona została z rozkładów jazdy. Następnie liczbę tę zweryfikowano w terenie.

Powstałe tablice następstw odcinków oraz charakterystyk uzupełniających modułów przedstawiają w sposób pełny i jednoznaczny układ torowy sieci. Są to dane, które ustalone zostały oddzielnie dla każdego modułu. Inne charakterystyki uzupełniające modułów, potrzebne w dalszej analizie, otrzymane zostały w wyniku przetworzenia danych charakteryzujących poszczególne linie i stanowią opis związany nie tylko z układem torowym ale również z ruchem prowadzonym w sieci.

Wszystkie tablice następstw odcinków oraz charakterystyk uzupełniających wykorzystywane w dalszych pracach są tego samego rodzaju, tzn. w układzie:

[oznaczenie modułu] : [opis modułu]

Tablic tych nie należy łączyć, gdyż utrudnia to ich identyfikację oraz przetwarzanie da-

<sup>8</sup> Dokładnie opisany przykład serwisu tego typu można znaleźć m.in. w: *Mierzymy odległość, Linux Magazine*, 6/2006. Dodatkowe notatki zawarto w opisie załącznika pracy zawierającego mapy.

nych. Za najbardziej odpowiedni do archiwizacji typ danych (do opisu modułów) uznano *słownik* (ang. dictionary) występujący m.in. w wykorzystywanym w pracy języku Python. Słowniki są kolekcjami danych, których elementy przechowywane są zgodnie z kluczem. Klucz stanowi składnik identyfikujący dany element i poprzez niego uzyskuje się dostęp do danych poszczególnych elementów kolekcji. W rozpatrywanym przypadku kluczem jest *oznaczenie modułu*, który udostępnia dane opisujące dany moduł.

Do wprowadzania danych do tablic najbardziej właściwe okazały się pliki tekstowe. Przyjęta nazwa danego pliku oznacza rodzaj danych i okres którego dotyczą (sieć może ulegać zmianom w czasie). Ze względu na ewentualne uzupełnianie danych stosuje się pliki agregujące, które wiążą okresy obserwacji z rejestrowanymi danymi (przykład - dane: rys. D.1, D.2, przykład - powiązanie obserwacji z datami: rys. D.3, D.4).

Dla wyznaczenia lokalnej efektywności eksploatacji sieci sztywnotorowej wymagane jest określenie potencjału każdej z linii. Za potencjał linii w sieci tramwajowej przyjmuje się liczbę pasażerów, którzy mogą być przewiezieni w ciągu jednej doby, przy założeniu, że wszyscy oni przemieszczają się wyłącznie pomiędzy krańcowymi punktami nadania/odbioru (przystankami) linii. Do tego celu wykorzystuje się informacje o ilości kursów i rodzaju taboru używanego w danym czasie na linii. Format danych jest taki sam jak w przypadku opisu modułów sieci (przykład: rys. D.5, D.6).

Aby wyznaczyć efektywność sieci sztywnotorowej potrzebna jest również znajomość przebiegu tras planowych, zastępczych oraz objazdów dla każdej linii z podziałem na okresy odpowiadające dokładności obserwacji. Dla linii tramwajowych ocenę przeprowadza się z dokładnością co do jednego dnia, gdyż zmiany tras najczęściej wprowadzane są na jego początku (po okresie nocnym w którym ruch nie jest prowadzony).

Dane o zmianach w organizacji ruchu dotyczą pewnego okresu, zwykle dłuższego niż jeden dzień. Ich wprowadzanie dla każdego dnia (opisać należy wszystkie moduły na trasie każdej linii) wiąże się ze zbyt dużym nakładem pracy i możliwością popełnienia błędów. Z tego powodu dane te wprowadza się okresami dłuższymi, zgodnymi z występującymi zmianami a następnie już maszynowo składa się je i przepisuje z podziałem na linie i dni, uzupełniając o pozostałe charakterystyki.

Format wprowadzanych danych dla linii normalnych, zastępczych i objazdów przedstawiają rysunki: D.8, D.9, D.10, D.11, D.12.

Przedstawione charakterystyki wrocławskiej sieci tramwajowej, zarejestrowane w badanym okresie zostały zapisane w zestawie plików, których pełną listę (L-01), zawierającą przykłady dla każdego typu danych, zamieszczono na stronie 209.

Dane zgromadzone w ten sposób są kompletne, lecz ich struktura dostosowana jest do jak najprostszego ich wprowadzania i nie nadają się w obecnej formie do prowadzenia analiz sieci. Dlatego należy dostosować występujące struktury danych i sposób ich zapisu do zastosowania w modelu rozpatrywanej sieci. Z uwagi na ilość, rodzaj i sposób

wprowadzanych danych oraz złożoność ich przygotowania do analizy, struktury danych w ostatecznej formie i sposobie ich zapisu stanowią integralną część modelu sieci sztywnotorowej.

Postać danych odpowiednią do zastosowania w modelu przedstawia lista L-04 (str. 229) o strukturze przedstawionej na liście L-05 (str. 231) oraz zbiór danych uzupełniających przedstawiony na liście L-06 (str. 233).

Główny zbiór informacji przechowywany jest w relacyjnej bazie danych (dotyczy: L-04) zaś dane uzupełniające przechowywane są w osobnych plikach (dotyczy: L-06). Powodem jest chęć centralizacji danych podstawowych, które mogą ulegać zmianom oraz dostęp bez konieczności wielokrotnego nawiązywania połączenia do danych stałych i bardzo intensywnie wykorzystywanych.

Właściwą postać danych uzyskano przez przetworzenie wprowadzonych danych zgodnie z postępowaniem pokazanym na rys. D.16 oraz D.19, przy zachowaniu założeń konfiguracyjnych (lista L-03, str. 225). Uzyskanie właściwego formatu informacji potrzebnych w analizach (rys. D.16), ze względu na relatywnie dużą złożoność i zachowanie możliwości wglądu do danych w trakcie ich przetwarzania, podzielono na dwa główne etapy (rys. D.17 i D.18). Przygotowanie danych uzupełniających ze względu na relatywną prostotę (rys. D.19) nie wymaga dodatkowego omówienia.

Przedstawiona procedura doprowadziła do otrzymania modelu struktury danych opisujących w sposób jednoznaczny system wrocławskiej sieci tramwajowej w badanym okresie z punktu widzenia określenia jej efektywności. Jak można jednak zauważyć, przygotowana struktura tabel rezerwuje miejsca na większą ilość informacji.

Dotychczas nie zostały wpisane do tablic (L-04) dane otrzymywane wtórnie na podstawie wprowadzonych informacji (lista L-05, pozycje: [odcinki], [powiazana], [odleglo], [przystaj], [tr\_wyla], [tr\_obja], [tr\_wyrs], [tr\_obrs], [dl\_tr\_n], [dl\_tr\_o], [dl\_wyla], [dl\_obja], [dl\_cz\_w], [dl\_cz\_o], [przys\_n], [przys\_o], [prz\_wyl], [prz\_obj], [pr\_cz\_w], [pr\_cz\_o], [potprze]). Ich wyróżnienie związane jest z tym, iż są one wielokrotnie wykorzystywane a ich uzyskanie związane jest wykonaniem wielu czasochłonnych programów. Z uwagi na ilość pozyskanych informacji należy również sprawdzić (na tyle, na ile można wykorzystać związki pomiędzy wprowadzonymi danymi) ich poprawność.

Znając datę, której dotyczy dany rekord ([data wp]) oraz okresy występowania określonych cech uzupełniających (format nazwy pliku, lista L-06, str. 233) można powiązać z danym wpisem opis sieci ([odcinki], [powiazana], [odleglo], [przystaj]) oraz pobrać potencjał danej linii ([potprze]).

Jeśli na danej trasie ([trasa\_o], [trasa\_n]) występuje moduł, którego brak w zestawieniu dostępnym w [odcinki] to popełniono błąd w jego oznaczeniu wprowadzając dane, jeśli zaś trasa posiada w swym przebiegu przejście, którego brak w pozycji [powiazana] to albo popełniono błąd wprowadzając dane albo nastąpiła utrata ciągłości linii.

Moduły należące do odcinków wyłączonych [tr\_wyla] i tras objazdów [tr\_obja] można wyznaczyć stosując algorytm pokazany na rysunku D.20.

Odrębnego potraktowania wymaga rozłączenie linii. Z uwagi na to, że każdy fragment trasy, który został odcięty traktowany jest jako osobna linia, należy wyznaczyć tyle linii, ile jest ciągłych fragmentów trasy. Część wyłączoną oraz trasę objazdu dla każdego takiego fragmentu wyznaczyć można za pomocą algorytmu przedstawionego na rysunku D.21. W wyniku jego wykonania otrzymuje się dwie listy zagnieżdżone (poszczególne elementy listy są również listami) modułów, które tworzą pary objazd - wyłączenie pomiędzy [tr\_obrs] i [tr\_wyrs]. Otrzymane listy modułów pozwalają na wyznaczenie wskaźnika efektywności dla danej linii w przypadku wystąpienia rozłączenia linii.

Znając przebiegi wszystkich pozycji dotyczących tras danego rekordu ([trasa\_o], [trasa\_n], [tr\_wyla], [tr\_obja], [tr\_wyrs], [tr\_obrs]) na podstawie danych zawartych w [odleglo] i [przysta] można wyliczyć wszystkie długości ([dl\_tr\_n], [dl\_tr\_o], [dl\_wyla], [dl\_obja], [dl\_cz\_w], [dl\_cz\_o]) oraz liczbę przystanków tras i ich fragmentów ([przys\_n], [przys\_o], [prz\_wyl], [prz\_obj], [pr\_cz\_w], [pr\_cz\_o]).

## 5.2. Globalna efektywność sieci tramwajowej

Otrzymany w rozdziale 5.1 model sieci sztywnotorowej w sposób jednoznaczny definiuje sieć tramwajową miasta Wrocław jako sieć sztywnotorową.

Jednym z podstawowych kryteriów oceny sieci sztywnotorowej z wyznaczonymi, stałymi trasami jest jej efektywność eksploatacyjna. Posiadając narzędzia opisu klasy sieci sztywnotorowej w fazie projektowania rozwiązań transportowych można w sposób bardziej rzeczowy i obiektywny dobierać technologię transportu zapobiegając powstawaniu pytań o zasadność ich wyboru.<sup>9</sup>

Aby przeprowadzić ocenę globalnej efektywności systemu sztywnotorowego, po zebraniu i przygotowaniu danych<sup>10</sup>, należy dobrać odpowiednią wersję formuły matematycznej wskaźnika (spośród 4.14, 4.15, 4.16) oraz wyznaczyć jej współczynniki kształtu.

Dokonany opis technologii i konstrukcji systemu rzeczywistego wraz ze szczegółami przeprowadzonej implementacji modelu sieci sztywnotorowej pozwala prognozować o zachowaniu sieci tramwajowej oraz sugeruje przesłanki dla dokonania decyzji co do kształtu oceniającej funkcji. Dla potwierdzenia otrzymanych hipotez przeprowadzono ankietę wśród grupy osób, które zostały uznane jako eksperci w dziedzinie tramwajowej komunikacji miejskiej.

Formularze ankiet przedstawione są na rysunkach C.1, C.2, C.3, C.4, zaś zestawienie arkuszy odpowiedzi na stronie 203. Wyniki ankiety opatrzone komentarzem (str. 201).

<sup>9</sup> Np. pytania o zasadność rezygnacji z kolei wąskotorowej przytoczone w rozdziale trzecim, itp.

<sup>10</sup> Było to częścią procesu tworzenia opisu sieci (rozdz. 5.1).

Z uwagi na poziom kompetencji adresatów ankiety możliwe było bezpośrednio stawianie pytań dotyczących funkcji oceny.

Podstawowym wnioskiem na który wskazuje ankieta jest to, że funkcje  $g(x)$  i  $h(y)$  są różnej postaci i nie różnią się tylko wartością współczynników kształtu.

Przy projektowaniu ankiety starano się ustalić:

- dla wskaźnika związanego ze zmianą długości trasy linii:
  - charakter zmienności,
  - kształt krzywej kary,
  - punkt odniesienia przy ocenie,
- dla wskaźnika związanego z ilością opuszczonych obsługiwanych punktów na trasie:
  - znaczenie/wagę obsługiwanych punktów w zależności od miejsca ich występowania na trasie,
  - kształt krzywej kary,
  - przebieg zmienności funkcji określającej tolerancję pasażera, czyli opisać skutki zwiększania liczby pominiętych przystanków na trasie planowej (określić proces utraty skuteczności działania systemu).

co było podstawą dla określenia jej celów:

- weryfikacji oceny konsekwencji wyłączenia odcinka przez określenie kary,
- weryfikacji doboru przyjętych kryteriów oceny,
- wyznaczenie przebiegu zmienności funkcji kary.

Dla funkcji kary związanej ze zmianą długości linii planowej ustalono, że:

- skrócenie drogi przejazdu powodowane objazdem nie jest pozytywne,
- przyrost niezadowolenia pasażera jest nieliniowy,
- niezadowolenie wzrasta proporcjonalnie lub ponad wprost proporcjonalnie przy wydłużeniu drogi do 10%,
- pomiędzy 10% a 50% wydłużenia drogi występuje równomierna linia trendu przyrostu niezadowolenia,
- powyżej 90% wydłużenia drogi wartość niezadowolenia jest bliska 1,0,
- niezadowolenie pasażera uzależnione jest zarówno od względnego jak i bezwzględnego wydłużenia trasy objazdu,

a dla kary związanej z opuszczeniem przystanków linii planowej:

- mniejsze zagęszczenie obsługiwanych punktów na krańcach sieci nie przyczynia się do wzrostu lub obniżenia ich znaczenia,
- przyrost niezadowolenia z powodu opuszczenia od 0% do 5% obsługiwanych punktów jest nieliniowy i nasila się,
- powyżej 90% nieobsłużonych przystanków wartość niezadowolenia jest bliska 1,0,
- nie ma podstaw do określenia jednoznacznych, silnych ekstremów niezadowolenia względem opuszczonych punktów obsługi.

Wyniki ankiety nie są sprzeczne z opisem własności funkcji (rozdz. 4.1).

Odpowiedzi uzyskane w ankiecie potwierdzają słusność wyboru funkcji 4.14 dla opisu kary związanej z określeniem efektywności globalnej sieci tramwajowej miasta Wrocław.

Wykorzystując opis własności funkcji  $f(x, y)$ , wyniki ankiety (w szczególności odpowiedzi dotyczące oszacowania przedziałów określających obszary  $\mathfrak{A}$ ,  $\mathfrak{B}$ ,  $\mathfrak{C}$ ), oraz powiązanie ich poprzez te obszary (str. 105) tak dobrano współczynniki kształtu aby otrzymane funkcje spełniały warunki wszystkich wymienionych elementów (własności, ankieta, relacje wzajemne).

Dobór współczynników kształtu jest procesem niealgorytmizowalnym i iteracyjnym, którego kluczowym elementem jest uwzględnienie zgodności zakresów obszarów  $\mathfrak{A}$ ,  $\mathfrak{B}$ ,  $\mathfrak{C}$  tych funkcji (str. 105). Przedstawiona charakterystyka sieci sztywnotorowych oraz wyniki ankiety ograniczają możliwe warianty rozwiązania do funkcji  $arctg$  oraz pochodnej logistycznej z różnymi parametrami kształtu. Obserwując wpływ zmiany parametrów funkcji na ich postać, przy uwzględnieniu omówionych zmiennych decyzyjnych otrzymano funkcję kary  $f(x, y)$  określającą poziom globalnej efektywności eksploatacji sieci tramwajowej w postaci:

$$f(x, y) = \begin{cases} \left( \frac{1}{1 + 6 \cdot e^{-5,5 \cdot (\frac{y}{P})^{1,2}} - \frac{1}{7}} \right) \cdot u, & \text{dla } x \in (-\infty, 0) \\ \arctan \left( 5 \cdot \frac{x^3}{L^{2,6}} \right) \cdot s + \left( \frac{1}{1 + 6 \cdot e^{-5,5 \cdot (\frac{y}{P})^{1,2}} - \frac{1}{7}} \right) \cdot u, & \text{dla } x \in (0, +\infty) \end{cases} \quad (5.1)$$

gdzie:

$$u = 1,2001789236822665, \quad s = \frac{2}{\pi},$$

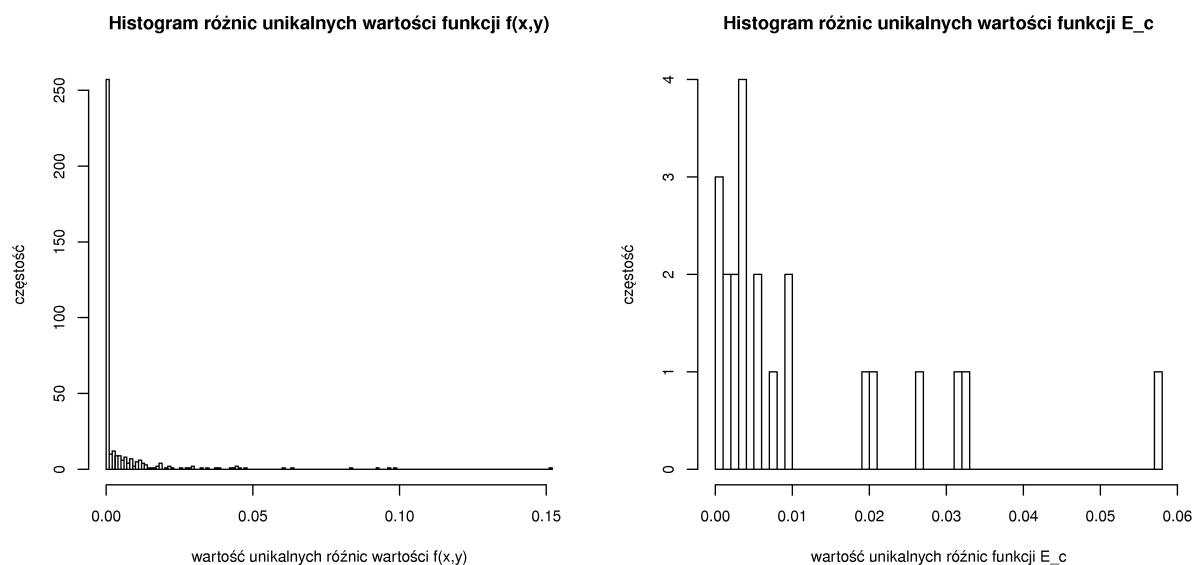
oraz:

$s$ ,  $u$  - współczynnik skalujący funkcji;  $x$  - zmiana długości trasy;  $L$  - długość linii normalnej (planowej);  $y$  - liczba opuszczonych punktów nadania/odbioru na linii;  $P$  - liczba obsługiwanych punktów nadania/odbioru na linii.

W obliczeniach przyjęto stałą sieci  $r = 100$  (str. 86). W przyjęciu tej wartości uwzględniono: małe zróżnicowanie długości linii sieci oraz oczekiwane położenie punktu B funkcji  $g(x)$  (rys. 4.12(c)).

Zgodnie z wcześniejszym założeniem przed przystąpieniem do prezentacji i analizy wyników należy określić precyzję z jaką będą one przedstawiane.<sup>11</sup> Wartość kary wyznaczona dla pojedynczej linii w danym dniu wystąpiła w liczbie 10034 przypadków spośród 16729 analizowanych pomiarów zanotowanych w badanym okresie 386 dni. W tym celu, z powo-

<sup>11</sup> Dokładność z jaką mają być podawane wyniki określana jest po dokonaniu obliczeń. W tym przypadku zdecydowano jednak ze względu na wyjaśnienie przyjętego postępowania na zmianę w kolejności opisu aby uprościć interpretację wyników przed ich pojawieniem się w pracy.



(a) Różnice pomiędzy wartościami funkcji  $f(x, y)$ . (b) Różnice pomiędzy wartościami funkcji  $E_c$ .

Rysunek 5.2. Rozkład wartości różnic pomiędzy unikalnymi elementami rosnącego szeregu wartości funkcji dla określenia precyzji z jaką powinny być podawane wyniki

du rezerwacji miejsca na uzupełnianie danych oraz możliwe linie zastępcze, sprawdzeniu podlegają 27020 przypadki (linie 0-24 oraz 70-79). Określenie precyzji podawanych wyników ma na celu uproszczenie analizy przy zachowaniu rozróżnialności poszczególnych scenariuszy rozwiązań. Aby ją określić przeprowadzono następujące postępowanie:

1. wyznaczono unikalne wartości kary  $f(x, y)$  uwzględniając zarówno jej wartości pierwotne jak i skorygowane o współczynnik znaczenia linii w sieci;
2. uszeregowano wyniki tworząc wektor którego wartości rosną na kolejnych pozycjach;
3. obliczono różnice pomiędzy sąsiadującymi elementami utworzonego wektora;
4. usunięto powtarzające się pozycje wektora różnic;
5. otrzymany wektor różnic między wynikami przyjęto jako podstawę do określenia dokładności podawanych wyników dla funkcji  $f(x, y)$ .

Procedurę tą powtórzono następnie dla otrzymanych wartości efektywności eksploatacji sieci  $E_c$ .

Dla funkcji  $f(x, y)$  (z uwzględnieniem znaczenia linii w sieci oraz bez niego) otrzymano 378 unikalnych wartości różnic pomiędzy jej wartościami. Rozkład częstości występowania unikalnych wyników przedstawiono na histogramie (rys. 5.2(a))<sup>12</sup>.

Zgodnie z przedstawionym rozkładem częstości z jaką występują wartości różnic w poszczególnych przedziałach (przy sporządzaniu histogramu liczbę klas ustalono na 150)

<sup>12</sup> Pamiętać należy, że wartość funkcji  $f(x, y)$  zawiera się w przedziale  $\langle 0, 2 \rangle$ .

precyzja podawania wyników jest istotna dla zachowania możliwości rozróżnienia poszczególnych scenariuszy rozwiązań. Najniższa zarejestrowana wartość funkcji kary wynosiła 0,000584226 zaś najniższa różnica pomiędzy elementami rosnącego szeregu wartości funkcji wynosiła 0,0000002045740. Z powodu liczności pomiarów branych pod uwagę oraz ich nierównomiernego rozmieszczenia, które utrudniają odczyt wykresu (rys. 5.2(a)) obliczono podstawowe miary pozycyjne:

*mediana*: 0,0001915913

*kwartył*: 0,0000504984

*decyl*: 0,0000202421

Należy pamiętać, że otrzymane wyniki prezentują okres 386 dni i poza badanym okresem występujące przedziały w których występują wartości funkcji  $f(x, y)$  mogą się różnić.

Rząd dokładności prezentacji wyników funkcji  $f(x, y)$  ustalono na poziomie  $10^{-8}$ .

Dla funkcji  $E_c$  określającej globalną efektywność eksploatacji sieci sztywnotorowej otrzymano 23 unikalne wartości. Rozkład częstości występowania unikalnych wartości różnicy wyników przedstawiony został na histogramie (rys. 5.2(b)). Zgodnie z przedstawionym histogramem wyniki różnią się w większym stopniu niż miało to miejsce w przypadku funkcji  $f(x, y)$  (przy sporządzaniu histogramu liczbę klas ustalono na 50). Najniższa wyznaczona wartość globalnej efektywności eksploatacyjnej sieci  $E_c$  w badanym okresie wyniosła 0,6238595 zaś najniższa różnica pomiędzy elementami rosnącego szeregu wartości funkcji wyniosła 0,0002586392. Dla porównania z poprzednio obliczanym przypadkiem podano podstawowe miary pozycyjne (rys. 5.2(b)):

*mediana*: 0,004262751

*kwartył*: 0,002160829

*decyl*: 0,000689409

Rząd dokładności prezentacji wyników globalnej efektywności eksploatacji sieci  $E_c$  ustalono na poziomie  $10^{-5}$ .

Określona dokładność podawania wyników jest najwyższą uwzględnianą w dalszym postępowaniu, która zapewnia rozróżnienie występujących scenariuszy rozwiązań i nie zawsze wymagana jest taka precyzja.

Sieci tramwajowe jako specyficzna implementacja sieci sztywnotorowych posiadają cechy charakterystyczne, nie występujące powszechnie w całej klasie systemów sztywnotorowych. Jednym z zachowań charakterystycznych jest występowanie linii zawieszonych oraz zastępczych. *Linia zawieszona* jest linią na której czasowo wstrzymuje się realizację przewozów. Realizacja zawieszenia odbywać się może wg. trzech głównych scenariuszy:

1. linia zostaje zawieszona, nie ma uzasadnionej możliwości łagodzenia skutków zawieszenia przez transport zastępczy,



2. linia zostaje zawieszona, a w jej miejsce wyznaczone są nowe linie zastępcze,
  3. linia zostaje zawieszona, a na linii zastępcze wyznacza się inne linie występujące w sieci,
- rozpatrując tą samą technologię transportu.

*Ad. 1 - Zawieszenie linii bez wyznaczenia linii zastępczych.*

Zaburzenia w ruchu na linii mogą doprowadzić do sytuacji, w której realizacja przewozów na danej trasie nie jest możliwa a ewentualne dostępne w danej sieci scenariusze prowadzenia ruchu zatracają pierwotny cel analizowanej linii (trasy zbyt mocno odbiegają swym przebiegiem od trasy pierwotnej). W takich przypadkach jedynym rozwiązaniem może być wstrzymanie ruchu na danej linii i o ile jest to możliwe przeniesienie zadań przewozowych na środki transportowe o odmiennej technologii realizowania transportu (dla transportu tramwajowego mogą być to zastępcze linie autobusowe). Ponieważ analizowana jest sama sieć sztywnotorowa, kara przyznawana w takich przypadkach za zawieszenie linii jest równa maksymalnej możliwej dla pojedynczej linii. Jest ona dzięki temu większa niż w przypadku pojedynczego zerwania ciągłości linii.

W przypadku scenariusza w którym linia została zawieszona, a nie przypisano jej linii zastępczej kara określana jest na poziomie maksymalnym jaki może przyjąć. Występuje to niezależnie od przyczyny zawieszenia linii, tzn. zakłada się że skoro wyznaczono pewną linię to okresowe zaprzestanie jej pracy może być powodowane tylko z powodów technicznych a w szczególności wyłączenia z eksploatacji elementów infrastruktury. Gdy na danej linii zaprzestana zostaje realizacja zadań transportowych z innych powodów nie jest to z punktu widzenia operatora sieci już zawieszenie linii lecz czasowa jej likwidacja.

*Ad. 2 - Zawieszenie linii z wyznaczeniem dodatkowych, nowych linii w sieci.*

Zaburzenia występujące na linii, w stopniu w którym realizacja transportu innymi drogami prowadzi to zatracenia tożsamości danej linii, doprowadzić mogą do wyznaczenia jednej lub wielu linii zastępczych. Linie te są nowymi trasami w sieci, które częściowo rekompensują zawieszenie realizacji zadań przewozowych linii pierwotnej. W analizie tych alternatywnych dróg przewozu ich trasy odnosi się zawsze do trasy linii zastępowanej i na tej podstawie wyznaczana jest część wyłączona linii oraz część będąca realizacją objazdu.

*Ad. 3 - Zawieszenie linii z przeniesieniem zadań transportowych na inne linie regularne (nie będące nowo wyznaczonymi liniami zastępczymi).*

Wyjątkową sytuacją, która występuje bardzo rzadko jest taka w której następuje przeniesienie zadań przewozowych na pozostałe linie sieci. Scenariusz ten jest dlatego wyjątkowy ponieważ w normalnych warunkach, pozostałe linie realizują inne cele przewidziane w procesie projektowania sieci. Jeśli jednak przebieg jednej z linii ulegnie zmianie (np. w

wyniku realizacji objazdu) to zdarzyć się może, że nową jej trasę można uznać za zastępczą względem innej, niezależnej linii, która aktualnie uległa zawieszeniu.

#### *Linie zastępcze.*

Większość wyznaczonych linii zastępczych jest specjalnie wyznaczonymi trasami, które częściowo rekompensują zaprzestanie realizacji zadań transportowych na liniach planowych. W tym przypadku linie zastępczą traktuje się jako linie z objazdem.

Zdarza się jednak, iż występują linie zastępcze dla których nie określono linii, które one zastępują a sam przebieg linii zastępczej nie pozwala na weryfikację podstawowej linii pierwotnej, która jest zastępowana. Powoduje to, że nie ma trasy do której można by było odnieść trasę zastępczą traktowaną jako objazd.

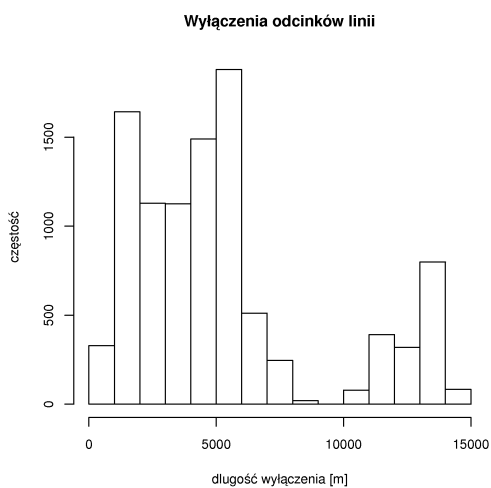
W tych przypadkach linie zastępcze stają się nowymi liniami podstawowymi w sieci. Linie te traktować należy jako czasowo wprowadzone linie planowe. Skoro nie wyznaczono relacji linii zastępczej względem linii planowych to jedyną logiczną interpretacją pojawienia się dodatkowych linii jest zidentyfikowanie czasowo występującego zapotrzebowania na transport na danej trasie, nie pokrywanego się z żadną z linii planowych. Należy pamiętać w tym przypadku o określeniu wartości potprze (str. 231), która potrzebna jest do określenia wagi nowo powstałej linii w sieci.

Trzeci przypadek, w którym jedna z regularnych linii sieci staje się linią zastępczą, stanowi pewną komplikację we wprowadzaniu danych w przyjętym modelu przetwarzania danych. Aby zapewnić prawidłową interpretację i umożliwić stosowanie algorytmów analizujących trasy dla tych przypadków całą trasę linii zastępczej należy wpisać jako trasę linii z objazdem.

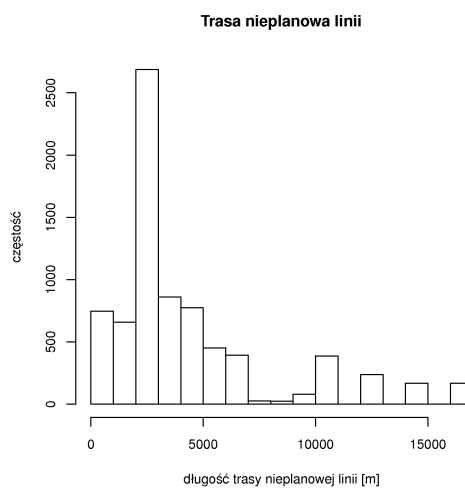
#### *Linie zastępcze a linie złączone.*

Należy rozróżnić scenariusz złączenia linii opisany na stronie 113 od zastąpienia dwóch linii jedną linią zastępczą. W przypadku złączenia linii każda ze składowych zachowuje swoją nazwę. W przypadku zastąpienia kilku linii jedną linią zastępczą nazwy linii zastępowanych nie występują. Inaczej traktuje się też trasy linii obliczając efektywność eksploatacji. W przypadku zastąpienia kilku linii jedną jej trasę odnosi się do sumy linii pierwotnych lecz jeśli droga linii pierwotnych pokrywa się to odcinki występujące wielokrotnie liczy się tylko jeden raz.

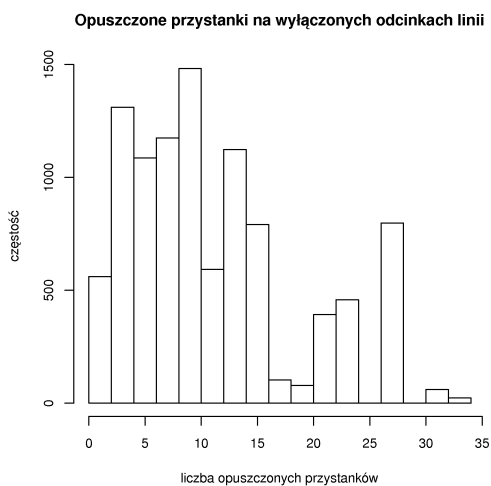
Zaobserwowane w badanym okresie długości wyłączeń poszczególnych linii w sieci nie występują z równymi częstościami (rys. 5.3(a)). Zanotowano 10034 przypadki wyłączeń segmentów trasy linii. Długość wyłączonych z eksploatacji segmentów poszczególnych linii, składających się z szeregu modułów sieci na których zaprzestano realizacji zadań transportowych, osiągnęła maksymalnie 15 km. Obserwowany rozkład częstości występo-



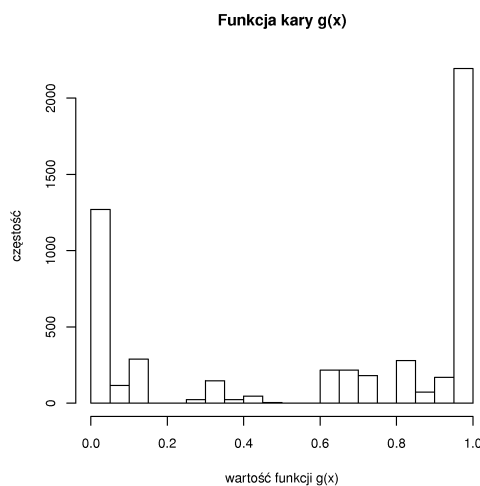
(a) Długość wyłączeń odcinków linii



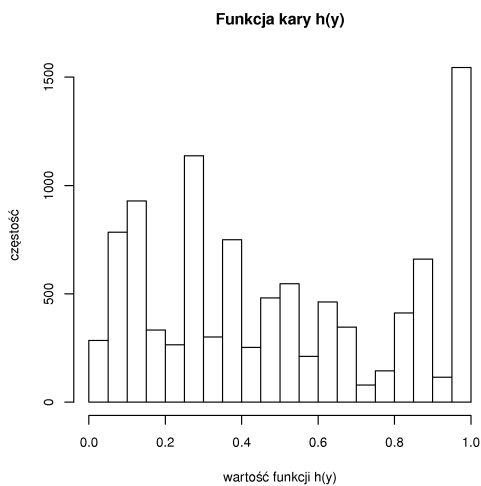
(b) Długość trasy nieplanowanej linii



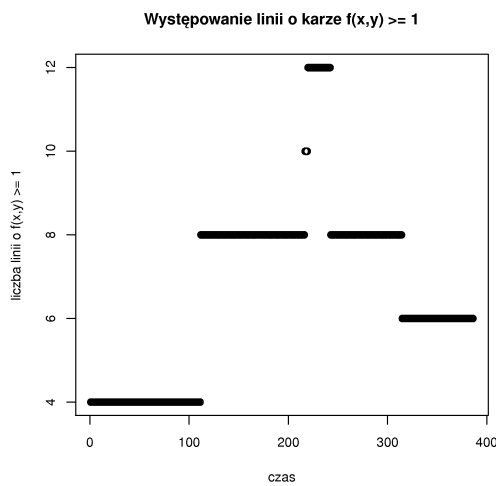
(c) Liczba opuszczonych przystanków linii



(d) Występowanie funkcji kary  $g(x)$



(e) Występowanie funkcji kary  $h(y)$



(f) Linie o karze  $f(x, y) \geq 1$

Rysunek 5.3. Charakterystyka linii wrocławskiej sieci tramwajowej w badanym okresie

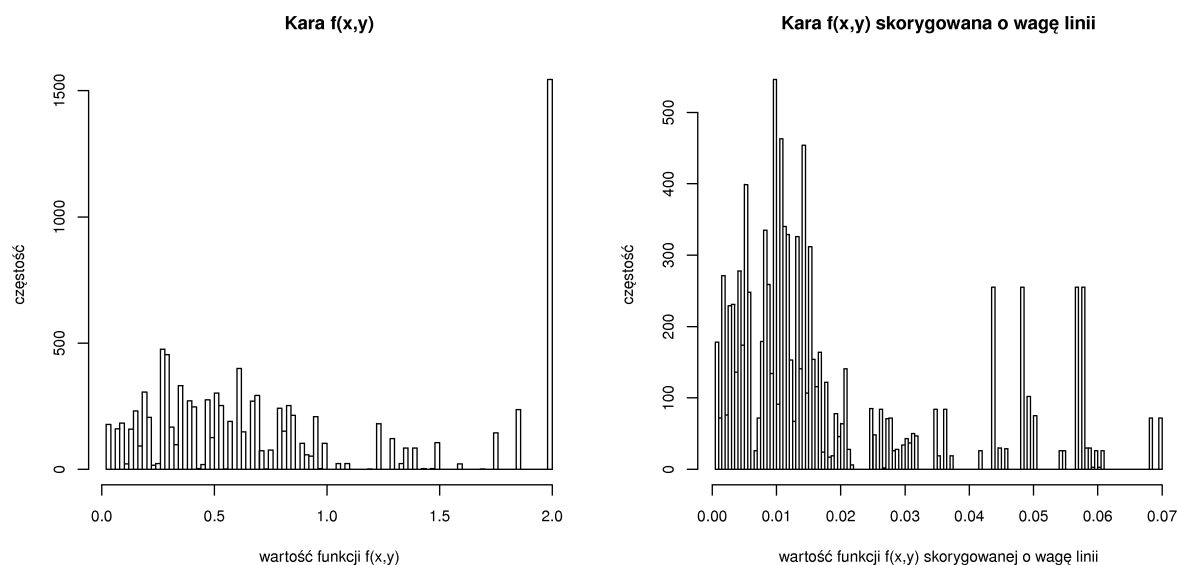
wania poszczególnych wielkości wyłączonych fragmentów tras w odniesieniu do średniej długości trasy wynoszącej dla linii planowych 11,7 km, pokazuje że większość wyłączeń miała długość mniejszą od 50% długości średniej linii planowej (mediana: 4,5 [km]). Negatywne w obserwowanej sieci jest nasilone występowanie wyłączeń o długości zbliżonej do długości linii planowych. Zjawisko to występować może m.in. w sytuacji zawieszenia linii bez wyznaczenia linii zastępczej lub w szczególnym przypadku, gdy jedna linia zastępcza zastępuje wiele linii normalnych i odbiega przy tym znacznie od ich planowego przebiegu. Prowadzić to może nawet do otrzymania wartości długości wyłączeń większych od najdłuższej normalnej linii w sieci.

Długość tras nieplanowych odbiega od schematu przedstawionego dla odcinków wyłączonych z eksploatacji (rys. 5.3(b)). Mniejsza liczba przypadków (7655) wskazuje na to, iż w części analizowanych scenariuszy tras droga linii uległa skróceniu. Koncentracji przypadków o umiarkowanej i średniej długości wydłużenia trasy względem wartości średniej drogi linii normalnych towarzyszą przypadki o bardzo dużych wartościach wydłużenia. Rozkład częstości występowania tras nieplanowych w poszczególnych przedziałach wydłużenia drogi oraz ich bezwzględna wartość przy uwzględnieniu liczby zanotowanych przypadków, wskazuje na to choć występuje duża liczba zanotowanych skróceń tras linii to te objazdy które występują zauważalnie odbiegają od linii normalnych (decyl: 1,4 [km]).

Zanotowano 10034 przypadki, w których dana linia opuściła przystanki na trasie (rys. 5.3(c)). Linie normalne obsługują planowo liczbę przystanków pomiędzy 19 a 43. W 75% przypadków liczba przystanków linii normalnej nie przekracza 28. Wartości największe obserwowane są dla linii których długość znacznie odbiega od średniej długości linii normalnej (np. linia 24 o długości 20,2 km i 43 obsługiwanych przystankach). Pozornie zaobserwowane ilości opuszczonych przystanków na trasie przy uwzględnieniu ich rozkładu i odnosząc do wartości maksymalnej obsługiwanych przystanków linii normalnych świadczą o umiarkowanej wadze problemu opuszczenia przystanków. Jeśli jednak uwzględnimy, że dla 85% linii normalnych liczba przystanków nie przekracza 29 oraz liczbę zaobserwowanych przypadków linii w których zaobserwowano opuszczenie przynajmniej jednego przystanku to można stwierdzić, że przystanki opuszczone stanowią istotny problem w analizowanej sieci transportowej.

Zaobserwowane wartości funkcji kary  $g(x)$  (rys. 5.3(d)) odzwierciedlają opisane wcześniej dane o długości wyłączeń i tras ponadplanowych. Otrzymane wartości pokazują jak istotne stało się dobranie wariantu funkcji kary oparte na stwierdzeniu o tym że w badanym przypadku funkcja ta nie ma być wrażliwa na skrócenie drogi linii. Pomimo mniejszej, w porównaniu do funkcji  $h(y)$ , liczby przypadków przyznania kary za zmianę długości trasy, liczność przypadków w których kara ta przekroczyła 0,6 w sposób istotny wpływają na końcową wartość oceny globalnej efektywności eksploatacji sieci.

W porównaniu do funkcji  $g(x)$  liczności kar w poszczególnych przedziałach ich wartości

(a) Funkcja kary  $f(x,y)$ (b) Funkcja kary  $f(x,y)$  skorygowana o wagę z jaką wchodzi do wskaźnika oceny sieci.

Rysunek 5.4. Liczności występowania wartości funkcji kary  $f(x,y)$  w poszczególnych przedziałach wartości  $F$  w badanym okresie

funkcji  $h(y)$  rozkładają się bardziej równomiernie (rys. 5.3(e)). Z uwagi na przyjęty wariant funkcji  $g(x)$  (z brakiem wrażliwości na skrócenie linii) rozpatrywana osobno funkcja  $h(y)$  pozwala na uzyskanie wierniejszego obrazu występującego w danym okresie układu objazdów w sieci.

Charakterystyczne w przedstawionym opisie jest wystąpienie licznych przypadków w których składowe kary  $g(x)$  i  $h(y)$  przyjmują wartości bliskie lub równe wartości maksymalnej jakie mogą one przyjąć. Przypatrzmy się zatem karom całkowitym  $f(x,y)$  dla poszczególnych dni (rys. 5.3(f)). Jako dodatkową informację przyjmujemy przedstawione graficznie na stronie 239, wyliczone wartości kar  $f(x,y)$  dla poszczególnych linii w kolejnych dniach obserwacji. Po uwzględnieniu tych informacji oraz przeanalizowaniu zmian tras w danym okresie można stwierdzić, że występujące wartości maksymalne składowych kar w większości należą do przypadków zawieszenia linii bez określenia dla niej linii zastępczej. Dokładna analiza tras pozwala co prawda w pewnym stopniu zakładać o powiązaniach pomiędzy liniami zastępczymi i zawieszonymi lecz:

- wprowadzenie kolejnych założeń co do potencjalnych powiązań pomiędzy liniami zawieszonymi i zastępczymi komplikuje złożoność interpretacji nie dają gwarancji słuszności przyjętych relacji między liniami,
- zaobserwowane takie przypadki występują jednostajnie w trakcie przeważającej części badanego okresu a przez to nie zaburzają istotnie interpretacji wyników,

co doprowadziło do podjęcia decyzji o nie spekulowaniu co do ewentualnych relacji linii zawieszonych i zastępczych.

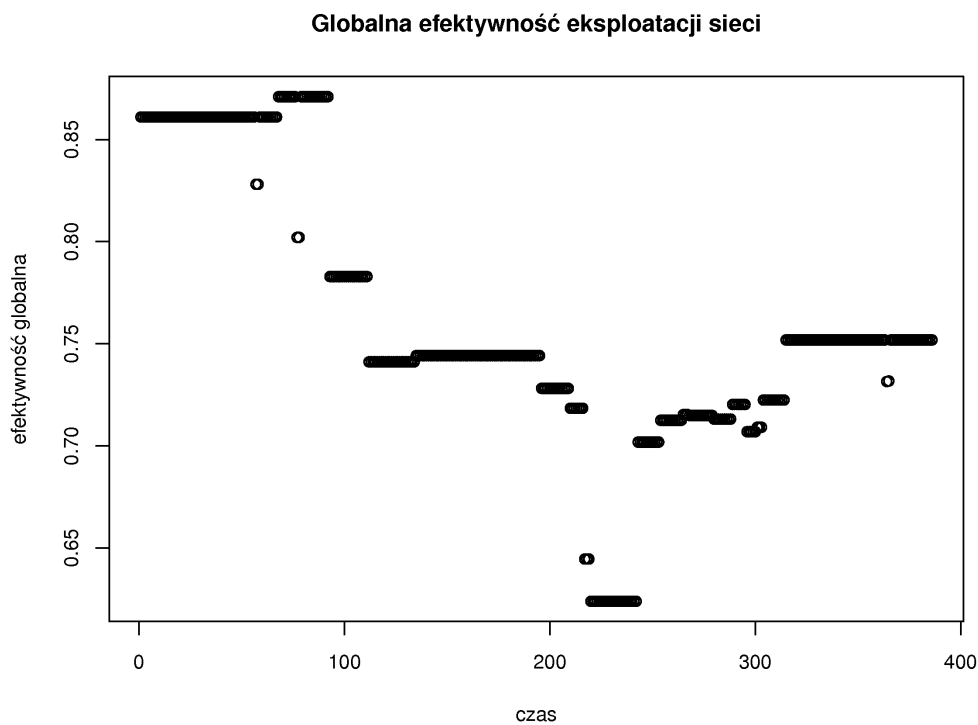
Wartość funkcji kary  $f(x,y)$  (rys. 5.4(a)) jest sumą przedstawionych wcześniej funkcji  $g(x)$  i  $h(y)$ . Wartości funkcji przedstawione na rysunku 5.4(b) są wartościami funkcji  $f(x,y)$  skorygowanymi o wagę linii której dotyczy.

Wartość funkcji  $f(x,y)$  (rys. 5.4(a)) w ponad 74% przypadków jest mniejsza od 1. W rozkładzie zaobserwowano znaczną liczbę przypadków o wartości kary zbliżonej lub równej do maksymalnej jaką może otrzymać pojedyncza linia, których występowanie objaśniono wcześniej. Zwraca uwagę fakt, że brak tendencji do częstszego występowania kar o niskiej wartości w przedziale  $\langle 0, 1 \rangle$  którą należałoby oczekiwać w przypadku efektywnie eksploatowanej sieci (w przypadku sieci eksploatowanych przez dłuższy czas wyłączeń nie da się całkowicie uniknąć z powodu planowych prac naprawczych). Uwzględnienie znaczenia linii w sieci pozwala zauważyć bardziej korzystny rozkład kar. Oznacza to, że kary o dużych wartościach występowały w znacznej mierze na liniach o mniejszym znaczeniu w sieci, co należy uznać za zjawisko pozytywne. Nadal jednak występuje znaczna liczba przypadków linii o wysokiej karze (w niemal 10% przypadków skorygowana o wagę linii kara jest większa od 0,05).

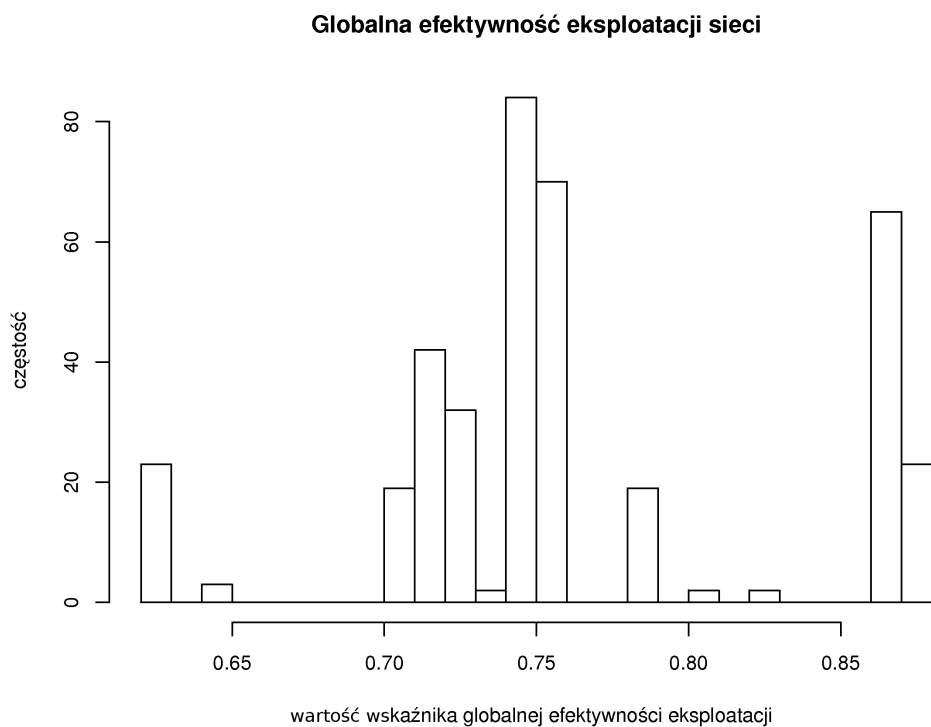
Prowadzi to do wniosku, iż analizowana sieć boryka się z wieloma problemami w prowadzonej polityce remontowej, gdyż znakomita większość przypadków wyłączeń odcinków linii w sieci to planowe prace naprawcze.

Analizę poprawności oceny globalnej efektywności eksploatacji wrocławskiej sieci tramwajowej (rys. 5.5(a)) należy rozpocząć od uwzględnienia wartości funkcji  $f(x,y)$  w poszczególnych dniach dla każdej z linii (str. 239). Wykres funkcji  $f(x,y)$  (str. 239) został tak sformatowany aby uwypuklić głównie duże zmiany wartości. Odczytać z niego można, że w badanym okresie wystąpiło 6 istotnych zmian. Zmiany te miały miejsce w następujących dniach:

1. 2006-03-12 [93 dzień pomiarów]
  - zmiana układu torowego: rys. F.1, F.2
  - zmiana wartości  $E_c$ : 0,87096  $\mapsto$  0,78289
  - linie których trasa uległa zmianie: 1, 2, 4, 8, 10, 12
  - linie zawieszane (nowe): 0, 16
2. 2006-04-01 [112 dzień pomiarów]
  - zmiana układu torowego: rys. F.3, F.4
  - zmiana wartości  $E_c$ : 0,78289  $\mapsto$  0,74111
  - linie których trasa uległa zmianie: 1, 8, 15
  - zmieniono linię zastępczą linii 16
3. 2006-06-24 [196 dzień pomiarów]
  - zmiana układu torowego: rys. F.5, F.6



(a) Wartość  $E_c$  w poszczególnych dniach



(b) Liczność wystąpień oceny globalnej efektywności eksploatacji  $E_c$  w poszczególnych przedziałach wartości

Rysunek 5.5. Globalna efektywność eksploatacji  $E_c$  wrocławskiej sieci tramwajowej w badanym okresie

- zmiana wartości  $E_c$ : 0,74417  $\mapsto$  0,72813
  - linie których trasa uległa zmianie: 9, 10, 17
  - linie zawieszono (nowe): 1
  - linia zastępująca linię 16 (linia 1) sama została zawieszona
4. 2006-07-15/18 [217 i 220 dzień pomiarów]
- zmiana układu torowego (2006-07-15): rys. F.7, F.8
  - zmiana wartości  $E_c$  (2006-07-15): 0,71840  $\mapsto$  0,64456
  - zmiana układu torowego (2006-07-18): rys. F.9, F.10
  - zmiana wartości  $E_c$  (2006-07-18): 0,64456  $\mapsto$  0,62385
  - linie których trasa uległa zmianie (2006-07-15): 6, 7, 8, 9, 12, 14, 15, 17, 20, 24
  - linie zawieszono (2006-07-15, nowe): 2
  - linie których trasa uległa zmianie (2006-07-18): 6, 7, 8, 11, 14, 24
5. 2006-08-10 [243 dzień pomiarów]
- zmiana układu torowego: rys. F.11, F.12
  - zmiana wartości  $E_c$ : 0,62385  $\mapsto$  0,70182
  - linie których trasa uległa zmianie: 6, 7, 17, 20, 24
  - linie wcześniej zawieszono, na których przywrócono ruch (po zmienionej trasie): 2
6. 2006-10-21 [315 dzień pomiarów]
- zmiana układu torowego: rys. F.13, F.14
  - zmiana wartości  $E_c$ : 0,72242  $\mapsto$  0,75183
  - linie których trasa uległa zmianie: 7, 15
  - linie wcześniej zawieszono, na których przywrócono ruch (po zmienionej trasie): 21
  - zmianie uległy linie zastępcze linii 1

a dokładne wartości wskaźnika globalnej efektywności eksploatacji w całym rozpatrywanym okresie można odczytać z tabeli zamieszczonej na stronie 237.

Jeśli proponowany model oceny jest poprawny to zmiany te powinny być widoczne na wykresie  $E_c$  (rys. 5.5(a)). Nie będą to jedyne zmiany jakie występują, jednak dla pomiarów w tych dniach powinny następować relatywnie duże zmiany wartości wskaźnika globalnej efektywności eksploatacji  $E_c$ . Tak istotne różnice zmiany poziomu wartości składowych współczynnika  $E_c$  związane powinny być niewątpliwie z wystąpieniem dużych wahań jego wartości.

Zgodnie z oczekiwaniami, w badanym okresie dla wrocławskiej sieci torowisk tramwajowych, zanotowano właśnie takie zachowanie się poziomu globalnej efektywności eksploatacji, co przemawia jako argument potwierdzający adekwatność modelu oceny.

Naturalnym jest również, że wyróżnione daty powiązane są ze zmianami przedstawionymi na wykresie linii o karze  $f(x, y) \geq 1$  (rys. 5.3(f)), co świadczy o prawidłowym przygotowaniu wykresu funkcji  $f(x, y)$  (str. 239).

Otrzymane wyniki zgodne są z obrazem zmieniającej się topologii sieci przedstawionej



na załączonych mapach (rys. F.1 – F.14), choć zmiana topologii nie musi się jednoznacznie przekładać na zakłócenia pracy linii w danej sieci (linie nie muszą być rozmieszczone równomiernie w sieci, mogą występować różnice w liczbie linii które związane są z danym odcinkiem). Szczególnie w okresie 2006.07.18 – 2006.08.10 w oparciu o zaobserwowaną skalę co do liczby wyłączeń odcinków i ich lokalizacji uzasadnione jest osiągnięcie minimum wartości  $E_c$  na tak niskim poziomie.

Jak wynika z wykresu 5.5(b) przedstawiającego rozkład częstości występowania poszczególnych wartości wskaźnika globalnej efektywności eksploatacji w badanym okresie oceniana sieć prezentuje się bardzo niekorzystnie. W trakcie prowadzenia obserwacji podjęto modernizację jednego z głównych skrzyżowań, o istotnym znaczeniu w sieci torowisk tramwajowych co wpłynęło na organizację ruchu w całym mieście. Uwzględniając ten fakt oraz pomijając przyjętą decyzję co do całkowitego zamknięcia ruchu w rejonie Placu Grunwaldzkiego należy zauważyć dużą rozpiętość wyników. W badanym okresie występuje koncentracja wokół wartości średnich z umiarkowaną liczbą wartości krańcowych przedziału. Oznacza to że uciążliwość prowadzonych prac remontowych i modernizacyjnych sieci tramwajowej była ogólnie równomierna z występującym w relatywnie krótkim okresie silnym zarówno pozytywnym jak i negatywnym odchyleniem. Uwzględniając lokalizację i charakter prac będących powodem wyłączeń z eksploatacji poszczególnych odcinków sieci niemal w całym badanym okresie zwraca uwagę utrzymujący się niski poziom oceny globalnej efektywności eksploatacji sieci, co również wskazuje na praktyczną i rzeczywistą istotność podjętej tematyki pracy.

Wskaźnik globalnej efektywności eksploatacji może nie tylko służyć do bieżącej oceny stanu infrastruktury, lecz również stanowić narzędzie w podejmowaniu decyzji co do prac związanych z utrzymaniem infrastruktury transportu sztywnotorowego.

Wykorzystując wskaźnik globalnej efektywności można m.in.:

- planować harmonogramy prac remontowych, które dogodnie rozkładają uciążliwość objazdów w czasie,
  - wyznaczać objazd dla wybranej linii,
  - wyznaczać objazdy dla układu linii z minimalizacją całkowitych negatywnych skutków,
  - decydować o zasadności rozpatrywania budowy nowych odcinków w sieci spełniających funkcje techniczne,
- w sieciach sztywnotorowych.

Wszystkie te zastosowania bazują na szeregowaniu scenariuszy rozwiązań według wartości wskaźnika globalnej efektywności eksploatacji.

Przy planowaniu harmonogramów sprawdzaniu podlegają różne scenariusze rozłożenia w czasie prac przewidzianych w rozpatrywanym horyzoncie czasowym. Najbardziej

odpowiednim rozwiązaniem jest to które w badanym okresie uzyskuje najlepszą wartość wskaźnika globalnej efektywności eksploatacji przy jednoczesnym akceptowalnym poziomie lokalnych wartości ekstremalnych. Automatyczne generowanie układu tras i ich ocena też jest możliwa przy wykorzystaniu prezentowanego modelu lecz ze względu na to że związane jest z intensywnymi obliczeniami jest obecnie ekonomicznie nieuzasadnione w praktyce.

Znając wszystkie możliwe trasy danej linii pomiędzy dwoma jej węzłami krańcowymi, po odrzuceniu tych które prowadzą przez wyłączone odcinki sieci, wyznaczyć można zbiór tras odpowiednich dla analizowanego układu torowego. Po uporządkowaniu tego zbioru w listę o pozycjach zgodnych z uzyskiwaną wartością wskaźnika globalnej efektywności powstaje hierarchiczna lista rozwiązań, których najwyżej lokowane rekordy stanowią propozycje realizacji objazdu dla linii. Celowo nie ogranicza się do pierwszej pozycji na liście, z uwagi na możliwe wystąpienie kryteriów poza ekonomicznych lub nie ujętych jako parametry w modelu przy wyborze trasy.

Wyznaczanie objazdów dla zbioru linii podobne jest do przypadku wyznaczania objazdu dla pojedynczej linii. Różnicą jest to, że po wyznaczeniu hierarchicznej listy rozwiązań dla każdej z linii, brane jest pod uwagę  $n$  pierwszych pozycji i sprawdzając wszystkie kombinacje rozwiązań poszczególnych linii otrzymuje się uszeregowany wg. kryteriów oceny modelu zbiór rozwiązań dla rozpatrywanego układu torowego.

Analizując sieć sztywnotorową zgodnie z prezentowanym modelem oceny, przy założeniu poprawnie prowadzonej polityki remontowej, w niektórych sieciach otrzymać można okresy w których nie da się uniknąć istotnie obniżonej wartości wskaźnika globalnej efektywności eksploatacji. W takich przypadkach jest uzasadnione rozpatrzenie możliwości modernizacji sieci sztywnotorowej. Podejmując decyzję o modernizacji sieci nie można jednak opierać się tylko na wartości wskaźnika globalnej efektywności eksploatacji. Bez krytyczne stosowanie tego narzędzia w analizie może bowiem doprowadzić do zbytnej rozbudowy sieci lub przeciwnie do stopniowego jej zaniku.<sup>13</sup> Gdy uzyskiwane wartości wskaźnika globalnej efektywności eksploatacji przyjmują nieakceptowalny poziom w istotnym okresie, kolejnym krokiem przy podejmowaniu decyzji o modernizacji sieci sztywnotorowej jest zastosowanie wskaźnika lokalnej efektywności eksploatacji. Dopiero po tym kroku można podjąć decyzję co do faktycznej zasadności rozpatrywania przeprowadzenia modernizacji sieci sztywnotorowej.

---

<sup>13</sup> Zuracano na to uwagę w trakcie prezentacji modelu - m.in. na str. 92.

### 5.3. Lokalna efektywność sieci tramwajowej

O ile ocena globalna efektywności eksploatacji sieci sztywnotorowej sięga w swej szczególności analizy do linii jako całości, tak w przypadku lokalnej oceny efektywności eksploatacji uwaga skupiona jest na pojedynczym odcinku. W konsekwencji zmiany podejścia w analizie sieci wprowadza się nie tylko nową formułę obliczającą wartość efektywności eksploatacji linii lecz również dla jej przeprowadzenia uzupełnić należy dane opisujące każdy z odcinków sieci, a otrzymane informacje pozwalają rozpoznać cechy topologii sieci.

Nową informacją opisującą każdy odcinek, która wykorzystywana jest w tym postępowaniu jest to w jakich potencjalnie możliwych trasach bierze on udział. Na tej podstawie posiadając już dokładnie rozpisane w czasie charakterystyki linii pozyskuje się dane potrzebne do obliczenia efektywności odcinka a następnie linii.

Uzyskanie dokładnego opisu odcinków sieci przeprowadzane jest w następujących etapach:

1. wygenerowanie wszystkich tras pomiędzy krańcowymi węzłami w sieci oraz węzłami początku/końca linii okólnych,
  2. wyznaczenie wszystkich istotnych alternatywnych tras dla każdej linii,
  3. zliczenie udziału każdego z odcinków sieci w trasach każdej z linii,
  4. uzupełnienie opisu charakterystyki każdego z odcinków,
- i stanowi wstęp do właściwych obliczeń lokalnej efektywności eksploatacji sieci.

*Ad. 1 Wygenerowanie wszystkich tras pomiędzy krańcowymi węzłami sieci oraz węzłami początku/końca linii okólnych.*

Formuła 4.22 określająca lokalną efektywność eksploatacji zawiera wskaźnik wagi, który korzysta z informacji o udziale danego odcinka we wszystkich potencjalnie możliwych trasach linii. Aby wyznaczyć te trasy należy określić wszystkie możliwe trasy pomiędzy węzłami krańcowymi sieci (tymi które mogą stanowić początek/koniec linii) oraz węzłami początku/końca linii okólnych. Zagadnienie to stanowi istotny problem obliczeniowy. Powszechnie stosowane są algorytmy, które analizują trasy uwzględniając pewne przyjęte kryterium (np. najtańszy, najbliższy). W tym przypadku poszukiwane są wszystkie trasy. Nawet w relatywnie niedużych sieciach może to prowadzić do intensywnych i długotrwałych obliczeń, a wraz ze wzrostem rozmiaru sieci złożoność obliczeniowa wzrasta ponad proporcjonalnie.

Głównym problemem z którym związane jest wyznaczenie wszystkich ścieżek w sieci jest jego zapotrzebowanie na pamięć. W chwili prowadzenia obliczeń, nawet dla sieci nie przekraczającej dwustu modułów, pamięć (RAM) współczesnych komputerów dostępnych przy realizacji pracy była niewystarczająca dla zastosowania znanych algorytmów wyszu-

kujących wszystkie ścieżki w sieci. Intensywne korzystanie z obszaru wymiany (SWAP) wydłużało bardzo istotnie obliczenia, nie dając przy tym możliwości kontroli nad procesem ich wykonania. Z tego powodu zdecydowano się na wykorzystanie algorytmu, który umożliwiał krokowe przeprowadzenie obliczeń zapisując stopniowo wyniki kolejnych etapów na dysku twardym, nawet kosztem dodatkowego wzrostu czasochłonności. W trakcie prowadzenia próbnych obliczeń strategia ta została pozytywnie oceniona.<sup>14</sup> Podział zadania obliczeniowego i dystrybucja na węzły klastra obliczeniowego uznane zostało za niewłaściwe. Wprowadzenie takiej złożoności obliczeń powodowało by poważne problemy natury ekonomicznej w realnych zastosowaniach. Zwiększająca się moc maszyn liczących powoduje, że w niedalekiej przyszłości opisywane obliczenia mogą już nie stanowić żadnego problemu technicznego a wprowadzone obecnie postępowanie wykorzystywane w obliczeniach równoległych zwiększałoby jedynie złożoność modelu utrudniając jego zrozumienie.<sup>15</sup> Optymalizacja kodu programu (np. z użyciem Cython - w obliczeniach wykorzystywano Python) lub wykorzystanie bardziej wydajnego języka programowania (jak C/C++) na etapie prototypowym, gdzie celem jest powstanie modelu i wzorców postępowania, oceniono jako nieuzasadnione. Zdecydowano, że ewentualny proces ulepszania kodu programu powinien zostać przeprowadzony dopiero w trakcie implementacji modelu w praktyce.<sup>16</sup> Z uwagi na omówiony wcześniej problem dużego zapotrzebowania na pamięć, uzasadnione jest, na czas generowania tras w sieci, przetłumaczenie oznaczeń modułów na odpowiadające im liczby całkowite. Wielkość odzyskanej dzięki temu pamięci równa jest różnicy pomiędzy zapisem w pamięci liczby całkowitej a liczbą zmiennoprzecinkową lub ciągiem znaków (w zależności od przyjętego formatu zapisu).

Przeanalizowanie kodu stosowanych programów doprowadziło do uzyskania wniosku, iż korzyści uzyskane z optymalizacji kodu na obecnym etapie prac nie zrekompensują pracy włożonej w optymalizację.

#### *Ad. 2 Wyznaczenie wszystkich istotnych alternatywnych tras dla każdej linii.*

Wykonane próby na sieciach wykazały, iż uwzględnianie tras alternatywnych których długość liczona ilością modułów znacznie przekracza długość linii normalnej nie wpływa znacząco na jakość rozwiązania przy obliczaniu efektywności linii. Dodatkowo po wy-

---

<sup>14</sup> W trakcie obliczeń wystąpił m.in. problem sprzętowy, który przerwał wykonywany niemal miesiąc program. Dzięki zastosowanemu krokowemu wykonywaniu programu nie było koniecznym powtórzenie obliczeń od początku.

<sup>15</sup> W czasie powstawania niniejszej pracy algorytmy i narzędzia programowania równoległego borykały się z wieloma trudnościami. Liczba prac prowadzonych w tym zakresie pozwala oczekiwać na znaczną poprawę sytuacji w niedalekiej przyszłości.

<sup>16</sup> Optymalizacja kodu często wymaga uwzględniania platformy sprzętowej na której wykonywane są obliczenia. Występuje ciągły wzrost mocy dostępnych komputerów. Obecnie spotykane rozwiązania są najczęściej mocno zależne od konkretnego przypadku.

znaczeniu maksymalnej długości trasy liczonej liczbą modułów sieci, dzięki ograniczeniu złożoności obliczeń, czas potrzebny na uzyskanie rozwiązania ulega znacznemu skróceniu, czyniąc wybrane rozwiązania możliwym do implementacji w realnych warunkach.

W trakcie prowadzenia badań zauważono również, że branie pod uwagę tras o długości (liczonej liczbą modułów) znaczenie przewyższających długość tras spotykanych w danej sieci utrudnia interpretację wyników akcentując cechy topologii sieci które w warunkach „zwykłego funkcjonowania systemu” nie są widoczne i istotne. Uwzględniając zaobserwowane własności sieci sztywnotorowych, etap ten staje się uzupełnieniem etapu wcześniej opisanego stanowiąc jego dodatkowe założenia.

Znając krańcowe węzły danej linii, można bez trudu wybrać ze zbioru uzyskanych wcześniej tras tylko te drogi, które stanowią alternatywne jej realizacje.

#### *Ad. 3 Zliczenie udziału każdego z odcinków sieci w trasach każdej z linii*

Posiadając informację o przebiegu wszystkich istotnych tras alternatywnych dla wszystkich linii w sieci można dla każdego odcinka wyznaczyć te linie których droga może (z uwzględnieniem objazdów) przez niego przebiegać. Znając zaś to, które linie przebiegać mogą przez dany odcinek można również zliczyć ile razy dany odcinek uczestniczy w realizacji każdej z określonych potencjalnych tras linii.

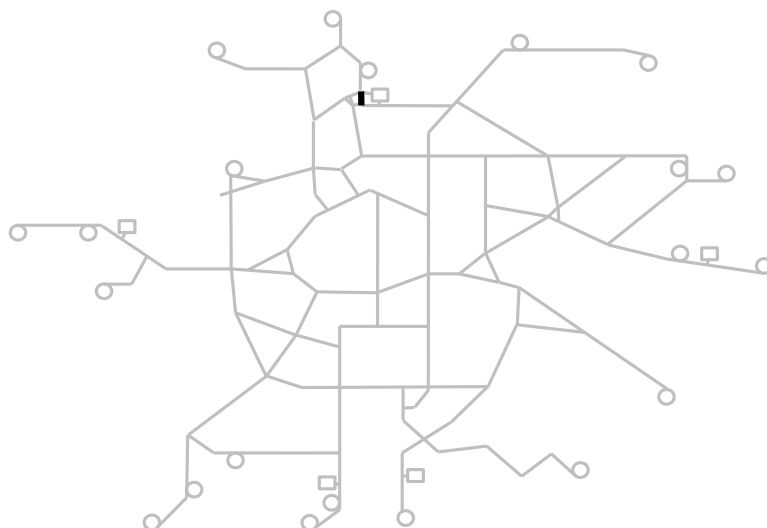
#### *Ad. 4 Uzupełnienie opisu charakterystyki każdego z odcinków.*

Informacje uzyskane w poprzednim etapie oraz charakterystyka linii pozwala uzyskać pozostałe informacje potrzebne do obliczenia lokalnej efektywności eksploatacji badanej sieci sztywnotorowej.

Należy odpowiedzieć w tym miejscu na pytanie: czy opisana procedura opisu odcinków sieci stanowi integralną część modelu opisywanego w rozdziale 5.1 czy też jest elementem implementacji?

Model definiować ma jednoznacznie strukturę sieci oraz pozwalać na opisanie jej charakterystyki. Przedstawiona procedura opisu odcinków korzysta tylko z danych modelu sieci. Jest formą opisu uzupełniającego, który można otrzymać bezpośrednio z definicji sieci. Pomimo tego, że jego otrzymanie wiąże się z dużym nakładem pracy to zakwalifikowanie go jako część modelu opisującego sieć sztywnotorową, tak jak w przypadku części pozycji tablic linii (L-05, str. 231) uznano za nieprawidłowe. Mogą bowiem wystąpić znaczne różnice pomiędzy implementacjami przedstawionej procedury zależnie od analizowanego systemu.

Wrocławska sieć torowisk tramwajowych pod względem ilości modułów oraz wyróżnionych następstw odcinków może zostać zakwalifikowana jako sieć średnich rozmiarów.



Rysunek 5.6. Lokalizacja przebudowanego odcinka w czasie modernizacji sieci

Nie jest to ani banalna sieć w której nie występują problemy związane z wygenerowaniem wszystkich możliwych tras linii, ani też nie jest to sieć dla której występują problemy z wyznaczeniem wszystkich istotnych alternatywnych przebiegów tras linii. Rozpoznanie rozmiaru sieci można bowiem powiązać z nakładem zasobów potrzebnych na jej analizę. Ze względu na różnorodność systemów zaliczanych do klasy sieci sztywnotorowych rozpoznanie ich wielkości uwzględniając bezwzględną liczbę modułów i ich następstw może wprowadzać w błąd co do oceny ilości pracy związanej z analizą danego systemu transportowego.

W rozpatrywanym okresie, z powodu przebudowy jednego z odcinków sieci (rys. 5.6), występują dwa układy torowe. W wyniku przebudowy powstał nowy moduł 76.41, który umożliwił ruch w dwóch kierunkach (wcześniej ruch jednokierunkowy) na odcinku 76 pomiędzy węzłami 40 i 41. Z tego powodu występować będą dwa zestawy możliwych, alternatywnych tras linii.

Wiadomo, że linie sieci na ogół mogą zaczynać się i kończyć tylko w węzłach krańcowych sieci. Jeśli wygenerowane zostaną wszystkie trasy zaczynające się i kończące w miejscu występowania węzłów krańcowych to otrzymany zbiór dróg zawierać będzie wszystkie możliwe trasy każdej z linii w sieci, która zaczyna się kończy w węzle krańcowym.

Czasami występują trasy które, tak jak przypadku linii „0”, realizują drogę będącą pętlą wewnątrz sieci. W tym przypadku należy dodatkowo przeanalizować wszystkie trasy które można rozpiąć między początkiem i końcem trasy. Znaleźć więc należy wszystkie trasy które zaczynają się i kończą na określonym module uznanym za początek/koniec

linii. Trasy te w zapisie zaczynają się na tym module lecz kończą się jednak zaraz przed osiągnięciem tego modułu.

Jeśli dany moduł sieci pokonywany jest więcej niż jeden raz to występuje pętla która powoduje, że przebieg drogi nie jest jednoznaczny dla pasażera, oraz że może w nieskończoność wydłużać trasę linii. Z tego powodu nie zezwala się na tworzenie zamkniętych cykli przez niedopuszczenie do ponownego pokonywania danego modułu na danej trasie.

Ograniczenie liczby rozwiązań jedynie do tras istotnych dla danej linii odbywa się poprzez przyjęcie maksymalnej długości trasy mierzonej ilości pokonywanych modułów. W przypadku małych sieci wyznaczenie wszystkich tras sieci nie stanowi problemu. Jednak w przypadku większych sieci wytyczenie wszystkich alternatywnych tras linii wiązać się może ze znacznym nakładem pracy. Jakość otrzymanego rozwiązania, po przekroczeniu pewnej wartości nie zwiększa się wraz ze wzrostem liczby dopuszczonych modułów jednej trasy. W trakcie prowadzenia symulacji okazało się, że paradoksalnie uwzględnienie tras o zbyt dużej długości obniża adekwatność modelu odnosząc go do samej topologii sieci a nie aktualnie realizowanego transportu na wyznaczonych liniach.

W badanym przypadku, po uwzględnieniu ilości modułów tras normalnych (trasa najkrótza: 13 modułów, trasa najdłuższa: 25 modułów, średnio: 17,5 modułu) i zaobserwowanych objazdów (trasa najdłuższa zmodyfikowanej linii: 29 modułów) oraz topologii sieci ustalono maksymalną liczbę modułów trasy na poziomie 35 modułów.

W porównaniu do warunków rzeczywistych, w modelu inaczej rozumiany jest termin *linia*, gdyż model uwzględnia kierunek prowadzonego ruchu. Zatem występująca w rzeczywistości linia „0” to w modelu linia 00A i 00B co pozwala na rozróżnienie kierunków ruchu, unikanie zamkniętych cykli i spełnienie innych mniej istotnych założeń modelu.

Zastosowanie założeń o braku występowania zamkniętych cykli na trasie oraz ograniczenie liczby modułów na trasie linii pozwoliło na wyznaczenie wszystkich istotnych tras linii we wrocławskiej sieci torowisk tramwajowych. W czasie prowadzenia analizy rozpatrywano w sumie 993882 alternatywnych tras linii w okresie 2005.12.10 do 2006.07.17 oraz 1021531 alternatywnych tras linii w okresie 2006.07.18 do 2006.12.31 (szczegółowe dane zawiera tabela na stronie 240).

Znaczna zmiana liczby tras linii wskazywać może na znaczące polepszenie się układu torowego po modernizacji (str. 242). Jeśli jednak uwzględnione zostaną przyrosty liczby tras poszczególnych linii (str. 243) to okazuje się, że również linie których trasa normalna znaczenie odbiega od położenia miejsca w którym dokonano przebudowy zyskują nowe drogi alternatywne. Zatem dla oceny poprawy sytuacji konkretnej linii bardziej istotne jest to w jakim stopniu w porównaniu do innych linii nastąpiło zwiększenie liczby tras alternatywnych. Bardzo istotna okazuje się tutaj przyjęta maksymalna długość trasy liczona liczbą pokonywanych modułów.

Posiadając informacje o przebiegu wszystkich tras linii w danej sieci można określić

dla każdego z modułów sieci w trasach jakich linii uczestniczy i z jaką częstością. Dla każdego z modułów otrzymuje się rekord w formacie:

data ; oznaczenie\_modulu ; linia1:liczba\_tras , linia2:liczba\_tras, ...

np. dla modułu 90.47 w dniu 2006.02.15 zapis jest następujący:

2006-02-15 ; m\_90\_47 ; 08B:10361, 21A:562, 00A:602, 09A:449, 21B:284,  
00B:2298, 09B:11125, 22A:651, 10A:163, 01A:189, 22B:849, 01B:8813,  
10B:5135, 23A:1857, 02A:454, 11A:281, 24A:879, 02B:8036, 23B:175, 12B:571,  
03A:826, 14A:879, 03B:789, 15A:681, 04A:396, 15B:1190, 04B:7753, 16A:750,  
05A:1442, 16B:16067, 05B:1423, 17A:284, 06A:530, 17B:5708, 06B:3256, 20A:1560,  
07A:550, 20B:1862, 07B:1132, 08A:482, 11B:2025, 12A:17951.

Uzyskany w ten sposób dodatkowy opis odcinków sieci pozwala uzupełnić ich charakterystyki o brakujące cechy potrzebne w trakcie obliczania lokalnej efektywności.

Częstość występowania większości z modułów (str. 244) w realizacji alternatywnych tras linii jest bardzo duża (str. 245).

Moduły 53.18 i 55.20 uczestniczą w okresie po przebudowie sieci w 423718 alternatywnych trasach linii (415700 - przed modyfikacją sieci). Ich położenie (str. 269) nie wskazuje jednak na tak dużą ich rolę w realizacji tras objazdów. Uwzględniając topologię sieci należy stwierdzić, iż wynik ten uzyskany jest głównie dzięki modułowi odcinka technicznego 56.19 i największe znaczenie pod względem liczby tras w której uczestniczy odcinek należy przyznać modułowi 7.1 (370773 i 381317 razy).

Najrzadziej (8946 i 9096 razy) w realizacji alternatywnej trasy linii uczestniczy moduł 103.30 co uwzględniając jego położenie (str. 269) jest uzasadnione.

Średnio każdy z modułów w całym badanym okresie od 2005.12.10 do 2007.12.31 uczestniczył w 132080 objazdach.

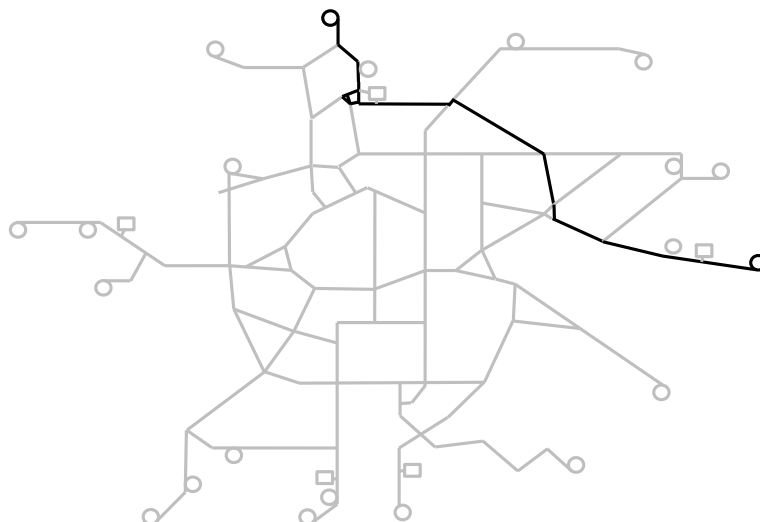
Przebudowa sieci przyniosła znaczne różnice w wartościach udziału w alternatywnych trasach linii przez poszczególne moduły (str. 245) nawet uwzględniając wysokie bezwzględne wartości udziałów. Ekstremalna wartość która wystąpiła wynika z pojawienia się nowego modułu w zestawieniu.

Analizując jednak tylko wielkości wcześniej przedstawione nie można stwierdzić o znaczeniu jakie miała przebudowa odcinka 76 na topologię sieci. Nie wiadomo bowiem nic o przebiegu tras powstałych po 2006.07.18, a w szczególności o tym czy przy ich tworzeniu linie wykorzystują nowe moduły które wcześniej nie były używane czy też tworzone są ze zwiększonej liczby kombinacji ułożenia tych samych modułów.

Lokalna efektywność eksploatacji służy głównie do oceny linii lub pojedynczego modułu sieci oraz identyfikacji własności danej sieci. Jako przykład dla weryfikacji tego wskaźnika posłuży analiza linii nr 1 we Wrocławiu.

Przebieg linii nr 1 (w pracy: 01A i 01B) przedstawiono na ilustracji (rys. 5.7) zaś dokładny





Rysunek 5.7. Linia nr 1 we Wrocławiu

opis jej przebiegu zawiera lista zamieszczona na str. 221.

Do wyboru tej linii przyczyniły się m.in. następujące argumenty:

- linia ta przebiega w jednym z kierunków przez zmodernizowany odcinek sieci więc można ocenić wpływ przebudowy dla konkretnej linii,
- linia ta nie posiada w porównaniu do innych dużej liczby tras alternatywnych,
- potencjał przewozowy tej linii jest bliski wartości średniej ze wszystkich linii,
- położenie trasy w sieci, z uwagi na to że przebiega ona w znacznym stopniu „brzegiem sieci”, powinno ułatwić interpretacje wyników,

przez co jest interesującym przypadkiem do analizy.

Trasa linii nr 1 różni się w zależności od kierunku ruchu. Linia 01A ma w przybliżeniu długość 9,8 km (18 modułów) a linia 01B 9,6 km (16 modułów).

Jak można zauważyć na zestawieniu na stronie 243 linia 01A uzyskała najmniejszy przyrost spośród linii zgodnych co do kierunku i przebiegających przez moduł 87.69 (ul. Żmigrodzka). W przeciwnym kierunku wszystkie te linie zanotowały jedynie minimalną zmianę liczby tras (str. 240). Względnie mała różnica w przyroście liczby tras alternatywnych między liniami 01A i 01B a pozostałymi po przebudowie odcinka 76 jest przyczyną tego, że nie odnotowano znacznej poprawy warunków funkcjonowania na tych liniach.

Jeśli brany jest pod uwagę udział linii 01A w rezerwacji poszczególnych odcinków na trasach alternatywnych (str. 246), to zaobserwować można średnio umiarkowany lecz korzystny przyrost wagi tej linii w przypadku większości modułów przez które ona prowadzi. Co jest mocno zauważalne i konieczne do odnotowania to fakt, że w przeciwnym kierunku, dla linii 01B, odpowiadające wartości uległy zmniejszeniu. Jest to wynikiem znacznej

ilości nowych tras które wystąpiły po zmianie w topologii sieci. Również pozostałe linie o podobnym kierunku przebiegu (zgodnym z modułem 76.40) i korzystające z modułów o relatywnie łatwej komunikacji z odcinkiem 76 zanotowały taką zmianę. Zjawisko to można zaobserwować nawet na odcinkach znacznie oddalonych od położenia odcinka 76 w sieci.

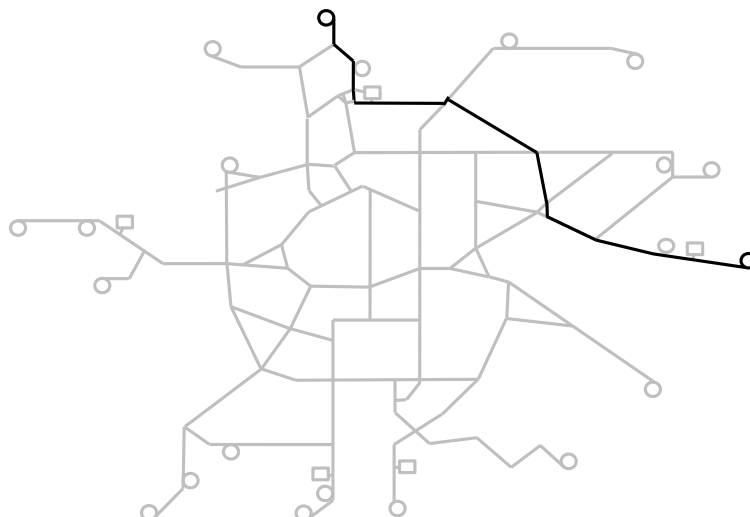
Niską korzyść uzyskaną z przebudowy odcinka 76 w przypadku linii nr 1 tłumaczyć można głównie przebiegiem jej trasy normalnej w odniesieniu do topologii sieci.

O ile w przypadku składnika lokalnej efektywności eksploatacji określającego udział w rezerwacjach (str. 98) otrzymane wyniki zgodne są z oczekiwanymi intuicyjnie zmianami wartości to w przypadku składowej określającej wykorzystanie potencjału odcinka przez linię transportową (str. 96) uzyskane wyniki (str. 253) dla linii nr 1 mogą zaskakiwać. Przeprowadzona przebudowa jednego z odcinków sieci nie wprowadziła bowiem żadnych zmian w wartościach składowej określającej wykorzystanie potencjału modułu w przypadku wszystkich odcinków biorących udział w alternatywnych trasach linii nr 1 (linie 01A i 01B). Wyjątkiem jest oczywiście moduł 76.41 który przed przebudową w sieci nie występował.

Po dokładniejszym przypatrzeniu się danym zauważyć można, że przyczyną tego jest fakt że zarówno przed przebudową jak i po niej linie 01A i 01B korzystają z tych samych modułów (z wyjątkiem nowo powstałego modułu 76.41). Zmiana liczby alternatywnych tras linii wynika zatem ze zwiększenia się liczby możliwych kombinacji tych samych modułów a nie z uzyskania dostępu do nowych rejonów sieci (odcinków wcześniej nie wykorzystywanych). Ponownie, oczywistym wyjątkiem jest nowo powstały moduł 76.41.

Dlaczego doszło do takiej zmiany charakterystyki sieci? Jedną z głównych możliwych przyczyn jest przyjęcie wysokiej wartości dopuszczalnej długości trasy liczonej liczbą pokonywanych modułów. Z tego powodu w dalszej części rozdziału zamieszczono dokładniejszy opis tego parametru, wpływu jaki wywiera na otrzymane wartości oraz dodatkowe informacje o sieci które pozwala on uzyskać.

Cechą odróżniającą wskaźnik lokalnej efektywności eksploatacji od globalnej jest m.in. to, że w przypadku globalnej efektywności eksploatacji uwagę zwraca się głównie na wynik a wielkości które na niego wpływają są w analizie drugorzędnymi informacjami uzupełniającymi (po stwierdzeniu o prawidłowej implementacji modelu). W przypadku lokalnej efektywności eksploatacji równie istotne są wielkości podstawowe zanotowane w systemie. Nie chodzi tu nawet o mapy parametrów sieci (str. 99) które ze względu na złożoność prezentowanych wyników (osobne zestawienia dla każdej linii itp.) są trudne w interpretacji lecz o wielkości składowe wskaźników prezentowanych na tych mapach bezpośrednio mierzone w sieci. Są to informacje o tym jakie alternatywne trasy linii mogą być przeprowadzone przez dany moduł i w jakich ilościach itp., które pozwalają dogłębnie poznać zachowanie się topologii sieci.



Rysunek 5.8. Zmodyfikowana linia 01A zgodnie z topologią sieci w dniu 2006.10.15

Jak już to wcześniej wspomniano, wskaźnik oceniający lokalną efektywność eksploatacji jest wielkością indywidualną sieci.

Pomimo, że w skład wskaźnika lokalnej efektywności eksploatacji może wchodzić określenie gotowości na odcinku sieci odpowiadającym danemu modułowi to błędem jest traktowanie go jako „skorygowanej gotowości”.

Lokalna efektywność eksploatacji nie pozwala na porównywanie różnych sieci. Na podstawie samej wartości wskaźnika, bez porównania do innych scenariuszy i uwzględnienia charakterystyki sieci nie jest możliwe określenie czy jest on wysoki czy niski.

Pomimo tych trudności, poprawne użycie wraz z uwzględnieniem wyników etapu przygotowania wskaźnika lokalnej efektywności eksploatacji może być przydatne.

Dla zaprezentowania przykładu użycia wskaźnika posłużą następujące założenia:

- dni pomiaru: 2006-02-15, 2006-10-15,
- linie: 01A, 01B,
- trasy: trasy normalne linii 01A, 01B (rys. 5.7) oraz zmodyfikowana trasa linii 01A (rys. 5.8),

co pozwoli na ocenę jego własności i przydatności. Dla jasności interpretacji przykład nie uwzględnia istniejących w danym dniu objazdów.

Z uwagi na możliwość występowania niskich wartości wskaźnika (jest on wynikiem mnożenia składowych mniejszych od 1) przy prezentacji wyników, o ile nie zaistnieją dodatkowe warunki specjalne, uwzględnia się pierwszych osiem znaczących cyfr co jest spotykaną praktyką stosowaną w oprogramowaniu matematycznym.

Linia 01A, 2006.02.15

Wyniki  $E_L$  dla modułów:

303.503: 0.040845941, 87.203: 0.040845941, 85.69: 0.0018487726, 84.68: 0.0018487726,  
77.41: 0.00078878575, 115.72: 0.0012197471, 75.39: 0.00040852657, 78.40: 0.00052223895,  
79.42: 0.00052223895, 80.43: 0.00044312117, 81.70: 0.00042296097, 69.44: 0.00049569814,  
91.45: 0.0012115124, 94.47: 0.0013997085, 98.49: 0.036399844, 99.52: 0.069122557,  
100.53: 0.069122557, 306.206: 0.069122557.

Wynik dla linii:

$$E_L = 1.1577559e-45$$

Linia 01A, 2006.10.15

Wyniki  $E_L$  dla modułów:

303.503: 0.040499019, 87.203: 0.040499019, 85.69: 0.0018540430, 84.68: 0.0018540430,  
77.41: 0.00077645832, 115.72: 0.0012127828, 75.39: 0.00041054385, 78.40: 0.00077489770,  
79.42: 0.00077489770, 80.43: 0.00050420185, 81.70: 0.00049315995, 69.44: 0.00056682342,  
91.45: 0.0013265330, 94.47: 0.0015871413, 98.49: 0.040433475, 99.52: 0.075668154,  
100.53: 0.075668154, 306.206: 0.075668154.

Wynik dla linii:

$$E_L = 6.8034992e-45$$

Linia 01A, zmodyfikowana (rys. 5.8), 2006.10.15

Wyniki  $E_L$  dla modułów:

303.503: 0.040499019, 87.203: 0.040499019, 85.69: 0.0018540430, 84.68: 0.0018540430,  
76.41: 0.0018649637, 78.40: 0.00077489770, 79.42: 0.00077489770, 80.43: 0.00050420185,  
81.70: 0.00049315995, 69.44: 0.00056682342, 91.45: 0.0013265330, 94.47: 0.0015871413,  
98.49: 0.040433475, 99.52: 0.075668154, 100.53: 0.075668154, 306.206: 0.075668154.

Wynik dla linii:

$$E_L = 3.2820258e-38$$

Linia 01B, 2006.02.15

Wyniki  $E_L$  dla modułów:

306.506: 0.068260098, 100.206: 0.068260098, 99.53: 0.068260098, 98.52: 0.037503465,  
94.49: 0.0015752342, 91.47: 0.0012866805, 69.45: 0.00062330862, 81.44: 0.00052489414,  
80.70: 0.00050059784, 79.43: 0.0010091158, 78.42: 0.0010091158, 76.40: 0.0012572563,  
84.41: 0.0025186596, 85.68: 0.0025186596, 87.69: 0.048142755, 303.203: 0.048142755.

Wynik dla linii:

$$E_L = 7.4534715e-38$$

Linia 01B, 2006.10.15

Wyniki  $E_L$  dla modułów:

306.506: 0.068100489, 100.206: 0.068100489, 99.53: 0.068100489, 98.52: 0.037371335,  
94.49: 0.0015580527, 91.47: 0.0012703677, 69.45: 0.00061528855, 81.44: 0.00051790942,  
80.70: 0.00049362338, 79.43: 0.00098158025, 78.42: 0.00098158025, 76.40: 0.0012238999,  
84.41: 0.0025033581, 85.68: 0.0025033581, 87.69: 0.048113229, 303.203: 0.048113229.

Wynik dla linii:

$$E_L = 6.2863973e-38$$

Otrzymane wyniki potwierdzają wcześniej poczynione uwagi. Na podstawie porównania 01A w dniu 2006.02.15 i 2006.10.15 można stwierdzić o nieznacznym polepszeniu wartości czyli o poprawie sytuacji. Jeśli jednak porównamy je do wartości otrzymanych dla skorygowanej trasy linii 01A, której przebieg tylko nieznacznie różni się od pierwotnego to zauważyć można zupełnie inną skalę poprawy. Uwzględniając informacje uzyskane w trakcie przygotowywania do obliczeń wskaźnika efektywności lokalnej sytuacja ta staje się zrozumiała. Jeśli bierze się pod uwagę maksymalną długość linii alternatywnej na poziomie 35 modułów to przebudowa odcinka 76 nie wpłynęła na jakościową poprawę tras linii nr 1, lecz ich zwiększona wariantowość opiera się na bardziej intensywnym wykorzystaniu wcześniej dostępnych modułów. Potwierdza to zaobserwowana zmiana dla linii 01B, której sytuacja uległa pogorszeniu po dokonaniu przebudowy.

Jednym z najbardziej istotnych zagadnień przy omawianiu otrzymanych wyników jest przy tym przyjęta maksymalna długość trasy mierzona liczbą pokonanych odcinków (dalej nazywana parametrem  $i_l$ ). Jak już wcześniej zostało to zaznaczone, zwiększenie tak mierzonej długości trasy może prowadzić do zmniejszenia adekwatności modelu. Nie jest to jednak zmniejszenie adekwatności względem topologii sieci której własności lepiej uwyppuklają linie dłuższe lecz względem aktualnie wyznaczonych w sieci linii transportowych. Ponieważ w pracy uwaga skupiona jest na cechach sieci sztywnotorowej to dopuszczalna długość trasy ustalona została na wyższym poziomie niż miało by to miejsce w przypadku pomiaru dokonywanego dla samych linii. Badanie zmian zachowania mierzonych wartości w sieci wynikające ze zmiany parametru  $i_l$  stanowi jeden z głównych działań służących ocenie topologii sieci. Jeśli zwiększanie parametru  $i_l$  nieustannie prowadzi do zwiększania się liczby modułów zaangażowanych w trasy poszczególnych linii to są podstawy, by wnioskować o małej elastyczności powiązań pomiędzy krańcowymi węzłami sieci. Jeśli zaś przy stosunkowo niewielkiej (względem warunków panujących w badanej sieci) wielkości  $i_l$  trasy przestają korzystać z nowych modułów w swoich alternatywnych drogach to są podstawy do tego by sądzić, że sieć ta charakteryzuje się dużą elastycznością powiązań pomiędzy jej krańcami. Inne będą konsekwencje dodawania kolejnych modułów sieci w

jednym i drugim przypadku i może okazać się, że bardziej korzystne będzie dokonanie modernizacji powiązanej ze podwyższeniem parametrów eksploatacyjnych na jednym z odcinków niż wybudowanie nowego połączenia pomiędzy węzłami.

Skupiając się na oddaniu charakteru sieci jako systemu sztywnotorowego i przyjmując wysoką wartość parametru  $i_l$  doprowadzono do sytuacji w której dalsze zwiększanie parametru  $i_l$  nie prowadzi do jakościowego polepszenia poprawnie działającej sieci (bez wyłączeń).

Jeśli priorytetem byłoby oddanie własności układu linii wyznaczonych w sieci sztywnotorowej to należało by uwzględnić zarówno wpływ parametru  $i_l$  na jakość generowanych dróg alternatywnych (to czy w miarę zwiększenia wartości  $i_l$  trasy linii wykorzystują nowe moduły) jak i wrażliwość na wyłączenia poszczególnych modułów. Po wstępnym dobraniu parametru  $i_l$  należy przeprowadzić symulacje aby stwierdzić jak usuwanie poszczególnych modułów sieci wpłynie na jej własności (śledząc wcześniej opisane jej parametry oraz wskaźnik lokalnej efektywności eksploatacji dla wyróżnionych linii). Dopiero tak przeprowadzona analiza pozwala na dokładną ocenę wielu linii działających w sieci. Wszystkie narzędzia i elementy oceny uwzględniane w tym postępowaniu zostały już przedstawione.

Z uwagi na ograniczoną objętość pracy jedynie zaznaczono zagadnienia związane z dogłębną analizą sieci przy wykorzystaniu kryteriów i narzędzi udostępnianych przez wprowadzony wskaźnik lokalnej efektywności eksploatacji, gdyż rozmiar materiału z tym związanego znacznie poszerzył by rozmiar prezentowanej pracy.

Przyjęta w analizie perspektywa oceny która przedstawić miała sieć rozumianą jako układ torowy będący przedstawicielem sieci sztywnotorowej doprowadziła do wierniejszego, z tego punktu widzenia, odzwierciedlenia charakterystyki poszczególnych odcinków. Uwzględnia się liczbę tras każdej z linii prowadzoną przez poszczególne moduły, natomiast pomija się wrażliwość na wyłączenia sieci zakładając że wysoki poziom elastyczności połączeń zapewni możliwość realizacji objazdu. Jednocześnie z tego też powodu adekwatność oceny linii traktująca sieć jak układ linii (połączeń między ich krańcowymi węzłami) transportowych uległa zmniejszeniu co jest powodem wystąpienia tak niskich wartości  $E_L$  dla linii. Wielkość obliczonych wartości wskaźnika  $E_L$  dla linii wynika więc m.in. z faktu, iż dopuszczono do sytuacji w której przez większość modułów (tych które nie prowadzą bezpośrednio na kraniec sieci bez drogi powrotnej) przebiega duża liczba linii, nawet tych dla których położenie normalnej trasy jest znaczenie oddalone w sieci.

Przedstawione rozważania potwierdzają indywidualny charakter oceny lokalnej efektywności eksploatacji. Pozwala ona na dokładne poznanie sieci oraz poszczególnych odcinków i linii jednak należy zachować dużą ostrożność w jej stosowaniu i interpretacji.

---

Nie można przy tym brać pod uwagę tylko wartości wskaźnika lokalnej efektywności eksploatacji bez uwzględnienia śledzonych warunków panujących w sieci dobranych odpowiednio do celów prowadzonej oceny.

## 6. Wnioski

Przeprowadzone badania podejmują temat, który w porównaniu do innych zagadnień eksploatacyjnych związanych z transportem rzadko spotykany jest w publikacjach. W przedstawionym ujęciu temat ten, zgodnie z dokonanym rozpoznaniem literatury, nie był dotąd prezentowany.

Śledząc opisywaną w publikacjach z różnych dziedzin ekonomii i techniki ocenę techniczno-ekonomiczną systemów można zauważyć występującą sprzeczność pomiędzy dążeniem do minimalizacji kosztów i maksymalizacją efektów. Wysiłki próbujące pogodzić te, jak przedstawiał to Lange dwa wewnętrznie sprzeczne cele, w zadowalający sposób zachowując tożsamość obydwu rodzajów kryteriów są zdane na niepowodzenie. Trudność pogodzenia tych podejść jest przyczyną niespójnych opracowań, które spotkać można w literaturze.

Również w prezentowanej pracy musiano obrać wiodący kierunek analizy tak, że reprezentuje ona podejście techniczno-inżynierskie, które choć obejmuje wszystkie istotne zmienne decyzyjne, zarówno ekonomiczne jak i techniczne, to jednak traktuje koszty ekonomiczne jako wielkość zadaną procesowi projektowania systemu.

Nie jest bowiem możliwe, w rozpoznanej klasie systemów sztywnotorowych, przy pomocy dostępnych dziś narzędzi (technicznych i poznawczych) jednoczesne operowanie czynnikami technicznymi i ekonomicznymi, które jako zmienne decyzyjne dawałyby spójny/zgodny wpływ na ich łączną funkcję celu.

Przeprowadzone w ramach realizacji studiów prace skupiają się wokół dwóch głównych zagadnień:

- identyfikacji pewnej klasy systemów eksploatacyjnych,
- ocenie tych systemów, opartej na cechach które je wyróżniają, powiązanych ze sobą i nierozłącznych, gdyż wzajemnie się uzupełniających.

Multidyscyplinarność podjętego tematu spowodowała konieczność skonfrontowania i ujednolicenia stosowanej terminologii. W tym celu sięgnięto do prac z okresu kształtowania się nauk o eksploatacji. Otrzymany zbiór terminologiczny został wykorzystany do utworzenia kryteriów opisu i oceny badanych systemów oraz pozwolił na jego rozszerzenie uwzględniające wprowadzenie klasy sieci sztywnotorowych.

Dostępne narzędzia opisu i oceny systemów technicznych, okazały się niewystarczające biorąc pod uwagę cel i kryteria wyróżnionej klasy systemów co doprowadziło do



podjęcia decyzji o zaproponowaniu nowych wielkości charakteryzujących badane obiekty techniczne uwzględniających przyjęte w pracy cele poznawcze.

W analizie zgodnej z przyjętą normatywną i opisową definicją efektywności, uznanej za podstawowy parametr oceny, jako podstawę narzędzi oceny wykorzystano teorię niezawodności oraz dotychczas osiągnięte wyniki prac opisane w dostępnych publikacjach na dobrze rozpoznanych i zbadanych systemach będących reprezentantami klasy sieci sztywnotorowych. W trakcie opisu klasy sieci sztywnotorowych podjęto decyzję o zbudowaniu nowego wskaźnika opartego na podstawowych kryteriach oceny oraz uwzględniającego wyróżnione, ze względu na przyjęte cele badawcze, warunki funkcjonowania tych systemów.

Choć w wielu miejscach model oceny odnosi się do innych prac zaprezentowanych w przeglądzie literatury to nie można mówić, ze względu na inne ujęcie tematu, o bezpośredniej kontynuacji koncepcji spotykanych w publikacjach lecz o jego przedefiniowaniu skupionym wokół kryteriów charakterystycznych klasy sieci sztywnotorowych.

Przedstawione pojęcie sieci sztywnotorowych jest rozszerzeniem terminu transport sztywnotorowy. Jako klasa obiektów technicznych stanowi grupę systemów o odmiennej budowie środków transportu lecz wspólnych własnościach topologii sieci i zadaniach realizowanych przez urządzenia infrastruktury.

Systemy należące do tej klasy to zarówno zanikające w użyciu koleje wąskotorowe jak i prototypy rozwiązań transportowych co do których zastosowania w realiach działalności gospodarczej dopiero się spekuluje. I właśnie w tej drugiej grupie można również upatrywać przyszłego wzrostu znaczenia badań nad sieciami sztywnotorowymi. Typowymi rozwiązaniami tej grupy są rozwiązania *Personal Rapid Transit* będące koncepcją indywidualnego transportu miejskiego lub podmiejskiego. Prace nad tymi systemami prowadzone są już od lat sześćdziesiątych. W latach siedemdziesiątych podejmowano liczne próby prac na rozwiązaniami tego typu, m.in. prowadzono projekty Aramis (Francja), CabTaxi (Wielka Brytania), CVS (Japonia), Romag (San Diego). Niektóre z nich osiągnęły etap tras wycofanych później z eksploatacji jak Cabintaxi (Hagen, Niemcy) czy też implementacji funkcjonujących do dziś – Morgantown (West Virginia, USA). Intensywne prace nad tym rodzajem transportu zarzucono w końcu lat siedemdziesiątych lecz obecnie powraca się do analizowania tego typu rozwiązań czego przykładem są inwestycja w London Heathrow Airport (Wielka Brytania), oraz plany w Masdar City (Abu Dhabi, Zjednoczone Emiraty Arabskie) czy Daventry (Northamptonshire, Wielka Brytania). Najpowszechniej spotykanymi obecnie systemami sieci sztywnotorowej są kolej, sieci tramwajowe oraz różnorakie systemy transportu wewnętrznego.

Sieci sztywnotorowe nie są zatem tworem nowym, wcześniej nie występującym. Pod względem budowy sieci sztywnotorowe, co do swojej infrastruktury, stanowią one przez systemy o relatywnie podobnych koncepcjach konstrukcyjnych występujących w ogra-

niczonych liczb, które różnią się sposobem ich implementacji. Najczęściej powodowane jest to odmiennymi warunkami zewnętrznymi funkcjonowania danego systemu oraz dostosowaniem do różnych środków transportu (jak w przypadku porównania transportu kolejowego i tramwajowego).

Wprowadzenie pojęcia sieci sztywnotorowej wraz z wyróżniającymi je kryteriami pozwoliło na przeprowadzenie klasyfikacji w grupie rozpatrywanych systemów a ta przełożyła się na uporządkowanie struktur topologicznych sieci, również względem reprezentujących je grafów.

W matematycznym zapisie są to grafy o specyficznych własnościach i zastosowaniach. Właśnie te zastosowania i doświadczenia nabyte podczas implementacji modelu doprowadziły do powstania odmiennej konwencji zapisu tych sieci. Sformalizowany sposób zapisu informacji o sieci umożliwia nie tylko otrzymanie danych co do podstawowych jej parametrów lecz również ich przetwarzanie dla uzyskania informacji dodatkowych opisujących własności sieci.

Własności sieci sztywnotorowych oraz wykazywanie przez nie skończonej i ograniczonej liczby układów tras pozwala na sprawną i jednoznaczną ich analizę.

Nasilenie występowania tych własności oraz ich rodzaj uzależnione są od podklasy do której zakwalifikowano dany system sztywnotorowy.

W grupie  $0r$  dominującą cechą jest podatność sieci na zaburzenia występujące w wyniku wyłączenia odcinków tras oraz następnie: ustalony i niezmienny kierunek ruchu, ...

W grupie  $kr$ , gdzie  $k \geq 3$ , zaobserwować zaś można m.in. dużą elastyczność tworzenia tras w sieci, która prowadzić może nawet do relatywnego rozmycia się ograniczonej wyznaczania dróg w sieci, co stanowi kryterium wyróżniające sieci sztywnotorowe.

Najbardziej reprezentatywną grupą w klasie sieci sztywnotorowych jest podklasa  $2r$  której intensywności cech nie są najwyższe lecz są najbardziej równomierne co do nasilenia w całym spektrum w jakim mogą one wystąpić. W grupie systemów o regularnej topologii sieci podklasy  $2r$  zwracać należy uwagę na występowanie dominującego kierunku przemieszczania i uwzględnić go przy wyborze rodzaju stosowanej struktury sieci.

Duże znaczenie dla uzyskania pełnych zalet sieci sztywnotorowych przyjmuje stopień izolacji systemu sztywnotorowego od wpływu jej otoczenia. Stopień izolacji wpływa również na własności sieci transportowych, które przy niskim jego poziomie wykazywać mogą znaczne złagodzenie co do rodzaju i intensywności cech charakterystycznych.

Rozpoznaniu własności topologii sieci służy ocena lokalnej efektywności eksploatacji. Procedura tworzenia wskaźnika oraz narzędzia które są przy tym stosowane pozwalają nie tylko na ustalenie aktualnego stanu sieci lecz również na przewidywanie skutków zmian wprowadzanych do układu torowego. Postępowanie to przyjmuje dwa główne alternatywne kierunki.

W pierwszym przypadku analizowany jest układ wyznaczonych w sieci linii. W oby-

dwu przypadkach pozyskać należy te same informacje o każdym z odcinków sieci. Różne są jednak założenie przyjmowane podczas wyznaczania parametrów odcinków.

Gdy badany jest układ torowy linii w sieci wartość parametru  $i_l$  jedynie nieznacznie przewyższa długość występujących linii mierzonych liczbą pokonanych modułów na trasie. Zbadanie wpływu parametru  $i_l$  na scenariusze rozwiązań tras linii umożliwia jego odpowiednie wyznaczenie. Pozwala to zachować jakościowe różnice pomiędzy alternatywnymi trasami linii.

Znając zbiór istotnych alternatywnych tras linii w łatwy sposób można sprawdzić za pomocą symulacji jak wrażliwa jest dana sieć na wyłączenia poszczególnych odcinków. Nie jest celowe sprawdzanie wszystkich przypadków wyłączeń modułów sieci, gdyż wiąże się to przeanalizowaniem dużej ilości przypadków powstałych przez kombinacje odcinków wyłączonych. To które odcinki należy sprawdzić wynika między innymi z liczby i liczności linii przebiegających przez poszczególne moduły sieci oraz przyjęte w danej sieci priorytety co do realizowanych zadań transportowych. Dodatkowo wykorzystuje się potencjały poszczególnych linii mierząc ich udział na modułach sieci.

Otrzymane wyniki dla alternatywnych tras linii pozwalają w pewnym stopniu sprawdzić jakość wyznaczonych linii oraz przewidywać ich własności eksploatacyjne.

W drugim przypadku analizie podlega topologia sieci. Ten właśnie kierunek analizy przyjęto podczas prezentacji modelu oceny sieci sztywnotorowych w pracy. Pozwala on na stwierdzenie o własnościach sieci jako układu torowego oraz podejmowania decyzji nad modernizacją topologii odchodząc od układu wyznaczonych linii. Ma to szczególne znaczenie w sieciach w których układ linii wykazuje dużą zmienność w czasie.

Prowadzona analiza sieci odbiega znacznie od spotykanych rozwiązań dla systemów transportowych. Głównie z powodu koncentrowaniu się w obecnie wykorzystywanych rozwiązaniach na elementarnym procesie transportu, biorąc pod uwagę przede wszystkim użyty środek transportu.

Rozwiązania te jak w przypadku wyszukiwania połączeń lotniczych również są bardzo złożone i choć mają inny charakter posiadają punkty zbieżne z prezentowanym tematem. Algorytmy wyszukiwania tras borykają się bowiem z wynikami w których nie można sprawdzić wszystkich możliwych wariantów a otrzymane propozycje tras różnią się w małym stopniu. Z tego między innymi powodu zadanie wyszukiwania połączeń powierza się wyspecjalizowanym firmom zewnętrznym. Przykładem znanych obecnie przedstawicieli przedsiębiorstw działających na tym rynku, za sprawą popularyzacji wiedzy w tym zakresie przez Carla de Marcken'a i Daniela L. Weinreb'a, jest ITA Software<sup>1</sup>.

Przykładem innych analiz prowadzonych w sieciach transportowych, które wykazują pewien stopień pokrewieństwa są wyszukiwarki połączeń w miastach. W tej dziedzinie

---

<sup>1</sup> ITA Software, Cambridge, Stany Zjednoczone.

również łatwo znaleźć komercyjne propozycje rozwiązań jak znany [navitime.co.jp](http://navitime.co.jp)<sup>2</sup> czy z lokalnych rozwiązań jak [jakdojade.pl](http://jakdojade.pl)<sup>3</sup>. Algorytmy stosowane w tych rozwiązaniach wyszukują jednak pojedynczą trasę która jest uznana za najlepszą pod względem przyjętych kryteriów. Zbliża to do klasycznych algorytmów stosowanych w grafach, m.in. w obszarze badań operacyjnych i zmniejsza intensywność potrzebnych obliczeń.

W trakcie prowadzonych studiów nie zidentyfikowano jednak żadnego podmiotu, który oferowałby rozwiązania zagadnień transportu w sieciach sztywnotorowych z przyjętej w pracy perspektywy oceny.

Prezentowany model oceny efektywności lokalnej eksploatacji jest złożonym narzędziem analizy lecz jego stosowanie pozwala uzyskać unikalne informacje o sieci i jej poszczególnych liniach, stanowiące ważne wskazówki w trakcie podejmowania decyzji dotyczących użytkowania sieci sztywnotorowych. Uzupełnia on ocenę globalną efektywności eksploatacji sieci sztywnotorowej.

Globalna ocena efektywności eksploatacji dokonywana jest poprzez spojrzenie na sieć sztywnotorową jako całość, realizującą przyjęte zadania transportowe. Jako wyjściowe kryteria oceny sieci służą: *poziom akceptacji* wyrażający stopień tolerancji dla obniżenia jakości ruchu oraz *skuteczność* realizowanych procesów transportowych.

W ten sposób uwaga skupiona jest na analizie zakłóceń spowodowanych wyłączeniami poszczególnych modułów sieci, których występowanie jest charakterystyczne dla sieci sztywnotorowych. Ma to na tyle duże znaczenie, że stało się jednym z wyróżników zidentyfikowanej w pracy klasy systemów.

Jako odpowiednik wskaźnika syntetycznego, efektywność globalna eksploatacji sieci sztywnotorowej służy nie tylko ocenie stanu sieci lecz pozwala również na porównywanie różnych infrastruktur systemów sztywnotorowych, nawet takich które różnią się co do swojej topologii i rozmiaru.

W trakcie przeprowadzania oceny kluczowe znacznie przyjmuje wybór wariantu funkcji kary oraz oszacowanie jej parametrów kształtu. Wymaga to znajomości rodzaju analizowanego systemu i nie jest dostosowane do aktualnych warunków analizowanej sieci lecz obejmuje całą grupę danego rodzaju transportu. Dzięki temu możliwe jest porównywanie różnych systemów tego samego rodzaju.

Wskazane jest skonsultowanie każdego przypadku nowej implementacji modelu z grupą ekspertów zajmujących się danym rodzajem transportu. W pracy posłużyła temu ankieta.

Dobór parametrów funkcji oceniających uwzględnia powiązania pomiędzy własnościami funkcji składowych ostatecznej funkcji kary. Nie wykorzystuje się przy tym podobieństwo postaci krzywych, gdyż te matematycznie są znacząco różne, lecz podobne zachowanie eksploatacyjne systemów rozpatrywanych w oparciu o główne kryteria oceny.

<sup>2</sup> NAVITIME JAPAN Co., Ltd., Tokio, Japonia.

<sup>3</sup> City-nav sp. z o.o., Poznań.

Prezentowana w pracy ocena infrastruktury, w postaci przedstawionej w przykładzie, w sposób najbardziej adekwatny odzwierciedla systemy o średniej wielkości z wyróżnionymi stałymi liniami transportowymi. Jest ona dostosowana do konkretnego rodzaju sieci transportowych, tu torowisk tramwajowych. Analiza innego rodzaju reprezentantów klasy sieci sztywnotorowych wymaga przeprowadzenia procedury implementacji modelu przedstawionej w rozdziale 5.1, który ma na celu jego dostosowanie do własności danej sieci oraz warunków jej funkcjonowania.

Szczególnego podejścia wymagają przy tym sieci o bardzo małej liczbie punktów nadania/odbioru na linii. Stanowią one bowiem wyjątek, który w przypadku skrajnym nie posiada pośrednich obsługiwanych punktów na linii a transport odbywać się w nich może w cyklach prostych.

Przyjęte funkcje oceniające pozwalają na duże zmiany w ich kształcie wywoływane poprzez ich parametry. Dzięki temu można je dostosować w sposób adekwatny do wszystkich systemów klasy sieci sztywnotorowych.

Z przytoczonych powodów, w przypadku zastosowania modelu do oceny innego rodzaju transportu niż prezentowany w pracy, bardzo istotne jest prawidłowe przeprowadzenie walidacji i weryfikacji wobec rozpatrywanej implementacji modelu.

Implementacja modelu oceny globalnej efektywności eksploatacji do analizy wrocławskiej sieci torowisk tramwajowych wykazała wysoki stopień jej adekwatności względem obserwacji systemu rzeczywistego. W sposób bardzo wierny odzwierciedliła stan sieci w badanym okresie. Pozwala również zrozumieć trudności i ich przyczyny w wyborze najbardziej odpowiedniego scenariusza rozwiązania. Wskazała na potencjalne błędy decyzyjne co do przyjętego harmonogramu prac oraz sposobu ich przeprowadzenia. Nie rozsądza jednak jednoznacznie o ich słuszności, gdyż nie są znane wszystkie argumenty odpowiedzialnych za nie decydentów.

W pracy wykazano, że możliwe jest zbudowanie modelu wspomagającego procesy decyzyjne w zdefiniowanym obszarze badań. Wymaga to jednak zarówno wdrożenia nowej klasy systemów jak i wykorzystania dotąd nie stosowanych narzędzi oceny.

Przydatność modelu stwierdzono m.in. w:

- ocenie przyjętego rozwiązania układu torowego,
  - ocenie organizacji eksploatacji systemu,
  - harmonogramowaniu prac związanych z utrzymaniem sieci,
- które stanowią o jego znaczeniu w praktycznych zastosowaniach.

Model opierając się na cechach wspólnych zdefiniowanej sieci sztywnotorowej umożliwia jego zastosowanie do wielu różnych systemów, których wzajemne związki nie były dotąd akcentowane i omawiane.

W modelu wykorzystuje się wspólną w całej klasie wrażliwość na wyłączenia od-

cinków międzywęzłowych, będących konsekwencją planowanych remontów lub zdarzeń incydentalnych.

W ocenie bierze się pod uwagę zakłócenia które towarzyszą wyłączeniom odcinków linii wskazując na lokalne różnice działania systemu. Rozpatruje się w niej również skutki jakie niosą za sobą te wyłączenia poprzez uwzględnienie w tym procesie konsekwencji jakie ponosi operator sieci względem przewoźników.

W pracy wprowadzono spójny zespół narzędzi wykorzystywanych do badania wyróżnionego rodzaju sieci transportowych, obejmujący:

- dostosowaną terminologię,
- definicję klasy sieci sztywnotorowych, wyraźnie zakreślającą grupę systemów które do tej klasy należą,
- procedurę weryfikacji przynależności do wyróżnionej klasy oraz adaptacji modelu jej oceny dla nowych jej reprezentantów,
- mierniki i wskaźniki oceny efektywności reprezentantów wyróżnionej klasy systemów transportowych,

który pozwala w sposób kompleksowy i pełny dokonywać analizy sieci sztywnotorowych względem kryteriów je wyróżniających.

W pracy wprowadzono klasę systemów sieci sztywnotorowych oraz dokonano opis tej klasy uwzględniający przyjęte w modelu oceny kryteria. Zbudowano model oceny efektywności eksploatacji sieci sztywnotorowej ze względu na wyłączenia odcinków międzywęzłowych będących konsekwencją planowych remontów oraz zdarzeń incydentalnych. Wprowadzono metodologię pozwalającą na pomiar zakłóceń w sieci powodowanych poprzez wyłączenia odcinków międzywęzłowych. Określono skutki jakie towarzyszą wyłączeniom odcinków międzywęzłowych w sieciach sztywnotorowych oraz metody wyznaczenia ich wielkości. Przedstawione argumenty pozwalają stwierdzić, że cel pracy został zrealizowany.

W oparciu o przeprowadzony przegląd dostępnej literatury można stwierdzić, że zaproponowane podejście w analizie opisywanych systemów transportowych, którego realizacją jest klasa sieci sztywnotorowych oraz model ich oceny nie było dotąd opisywane w publikacjach i stanowi nowatorskie podejście do zidentyfikowanych problemów tej grupy systemów eksploatacji. Systematyczna ocena tych rozwiązań transportowych, możliwa dzięki przedstawionemu modelowi oceny efektywności sieci sztywnotorowych i dokonywana z perspektywy przynależności systemu do klasy sieci sztywnotorowych niesie za sobą dużo większą wartość poznawczą niż podejmowane wcześniej próby fragmentarycznego opisu eksploatacji poszczególnych systemów.

Osiągnięte w pracy wyniki wskazują na celowość prowadzenia dalszych badań w podjętej tematyce. Skatalogowanie znanych reprezentantów klasy sieci sztywnotorowej powinno przynieść wymierne korzyści praktyczne. Pogłębiona analiza klasy sieci sztywnoro-

---

wych, uwzględniająca nie opisywane w pracy wspólne cechy drugorzędne jej przedstawicieli, rokuje możliwość zidentyfikowania dalszych, ciekawych własności tej klasy systemów o dużej wartości poznawczej.

Obserwowane obecnie wzmożone zainteresowanie systemami należącymi do wyróżnionej klasy, w tym rozwiązaniami transportowymi które dotychczas nie znalazły szerokiego zastosowania, pozwala wnioskować o wzrastającym w przyszłości znaczeniu podjętej tematyki badań.

# Skorowidz

adekwatność modelu, 100, 162

ankieta, 143

cięcia, 25

definicja eksploatacji, 13

dyspozycyjność, 20

efektywność

środków trwałych, 31, 33

a czas, 91

a gotowość, 23

a jakość ruchu, 31

a niezawodność, 19

a przepustowość, 27, 30, 95

a skuteczność, 29, 70, 75

definicja, 15, 18, 19, 28, 69

ekonomiczna, 18, 32

eksploatacji, 28, 35

eksploatacji - geneza, 13

finansowa, 32

interpretacja, 12, 16

inwestycji, 13, 14

kryteria oceny, 28, 70, 72, 78, 93, 98

obiektu technicznego, 19

podmiotowa, 32

przedmiotowa, 32

przedsięwzięć inwestycyjnych, 33

strategia, 25

wielowymiarowy wektor jakości, 17

etapy implementacji modelu klasy sieci sztyw-  
notorowej

identyfikacja, 121, 130

lista etapów, 120

projektowanie modelu, 121, 137

zdefiniowanie problemu, 120, 121

funkcja

akceptacji, 30, 69, 73, 89

$f(x,y)$ , 90, 152

$g(x)$ , 84, 104, 115, 151

$h(y)$ , 87, 104, 116, 151

kary, 70, 72, 73, 78, 145

logistyczna, 79

satysfakcji, 30, 77, 89

globalna ocena efektywności, 69, 71, 90, 91,  
153

gotowość obiektu technicznego, 12, 20

gotowość obiektu technicznego

a niezawodność, 20

strategie, 23

jakość, 19

linia sieci sztywnotorowej, 88, 92

linia zastępcza, 149

linia zawieszona, 147

lokalna ocena efektywności, 91, 99, 117, 163

lokalna ocena efektywności - linia, 99, 162

lokalna ocena efektywności - składowe, 92

mapy parametrów sieci, 99

metoda rejestracyjno - graficzna, 15

metoda wskaźników technicznych, 15

metoda wydajności urządzeń, 15

metody drzewa zdarzeń, 25

model efektywnościowo - niezawodnościowy,  
36

model Markowa, 36

model semi-Markowa, 37

modele oceny efektywności z uwzględnieniem  
teorii odnowy, 40



- niezawodność, 19
- niezawodność systemu technicznego, 19
- objazd, 101
- opłacalność, 31
- parametr  $i_l$  sieci, 168
- potencjał eksploatacyjny, 25
- potencjał linii, 96
- potencjał systemu, 16
- prawo harmonii Adamieckiego, 14
- prezentacja wyników, 145, 166
- projektowanie modelu sieci
  - długości modułów, 140
  - notacja modułów, 140
  - pętle, zajezdnie, 138
  - potencjał linii, 141
  - przygotowanie danych, 141
  - przystanki modułów, 140
  - tablice cech uzupełniających, 139
  - tablice następstw odcinków, 139, 140
  - węzły, 137
  - węzły logiczne, 138
  - zapis tablic, 140
- przepustowość, 12, 27
- rachunek ekonomiczny, 32
- rezerwacja odcinków, 97
- rozłączenie linii, 108
- ścieżki zdatności, 25
- sieć sztywnotorowa
  - budowa, 57, 92
  - definicja, 46, 72
  - implementacja, 158
  - klasyfikacja, 47
  - klasyfikacja
    - 0r, 47
    - 1r, 49
    - 2r, 49
    - kr ( $k > 2$ ), 56
  - modelowanie, 62, 93
  - potencjał, 95
  - rozmiar sieci, 161
- sieci tramwajowe
  - badania eksploatacyjne, 125
  - cechy, 122
  - elementy toru, 124
  - historia, 121
  - mijanki, 124
  - okresy napraw, 127
  - pętle, stacje końcowe, 124
  - podkłady, 125
  - prace konserwacyjne, 126
  - projektowanie, 123
  - rozjazdy, krzyżownice, 124
  - szyny, 125
  - torowisko, 122
  - trwałość, 128
  - wady, 122
  - zalety, 122
  - zastosowanie, 123
- skuteczność, 29
- skuteczność
  - a nieuszkodzalność, 30
- trafność modelu, 100
- ucięcie linii, 110
- uroślawska sieć torowisk tramwajowych
  - konstrukcja, technologia, 133
  - opis sieci, 130, 136, 149, 160, 163
- współczynnik dyspozycyjności, 20
- wydajność, 15
- złączenie linii, 113
- zdatność, 92, 93

# Bibliografia

- [1] Adamkiewicz P.W., Adamkiewicz W.H.: Efektywność wykorzystania maszyn w świetle inżynierii niezawodności. W: Z. Cygan, redaktor, *Efektywność eksploatacji systemów technicznych*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1990. 19
- [2] Ammer G.: Die Verkettung der Streckenbelegung und der Belegungsgrad einer Gesamtstrecke. *Verkehrstechnische Woche*, 1925, 20. 26
- [3] Arszylowicz J., Dylewski A.: *Środki transportu wewnętrznego w przemyśle maszynowym. Dobór. Ekonomika eksploatacji*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1971. 31
- [4] Banaszak Z., Drzazga A., Kuś J.: *Metody interakcyjnego modelowania i programowania procesów dyskretnych*. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1993. 41
- [5] Barton R.F.: *Wprowadzenie do symulacji i gier*. Wydawnictwa Naukowo - Techniczne, Warszawa, 1974. 40
- [6] Blaik P.: *Logistyka*. PWE, Warszawa, 2001. 18
- [7] Bobrowski D.: *Modele i metody matematyczne teorii niezawodności w przykładach i zadaniach*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1985. 20
- [8] Bojarski W.W.: *Wprowadzenie do oceny niezawodności działania układów technicznych*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1967. 20, 194
- [9] Brandowski A.: Efektywnościowo-niezawodnościowy model systemu technicznego. *Zagadnienia eksploatacji maszyn*, 1987, 1-2 (69-70). 39
- [10] Brandowski A.: Miary efektywności systemu technicznego. *Zagadnienia eksploatacji maszyn*, 1987, 3-4 (71-72). 39
- [11] Brandowski A.: Markowski model oceny efektywności systemu technicznego. *Zagadnienia eksploatacji maszyn*, 1988, 1 (73). 36
- [12] Brandowski A.: Efektywność a niezawodność systemu technicznego. W: Z. Cygan, redaktor, *Efektywność eksploatacji systemów technicznych*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1990. 194
- [13] Brandt S.: *Analiza danych. Metody statystyczne i obliczeniowe*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2002. 40
- [14] Bąkowski W.: Procesowe podejście do ustalania granicy opłacalności eksploatacji taboru w transporcie lądowym. *Przegląd komunikacyjny*, 2006, 5/2006. 31
- [15] Caban D., Walkowiak T.: Metody komputerowej analizy niezawodności systemów transportowych ze stałymi trasami. W: T. Salamonowicz, redaktor, *Komputerowo wspomagana analiza niezawodności systemów. XXIX Zimowa Szkoła Niezawodności*. Sekcja Podstaw Eksploatacji Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk, Szczyrk, 2001. 39, 40, 41, 196

- [16] Cygan Z., redaktor: *Efektywność eksploatacji systemów technicznych*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1990. 14, 15, 18, 35, 36, 39
- [17] Cygan Z., Jędrzejowicz P., Ziemia S.: *Badania systemów eksploatacyjnych*, tom I. Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk, Wrocław – Warszawa – Kraków – Gdańsk – Łódź, 1983. 35, 36
- [18] Datka S., Suchorzewski W., Tracz M.: *Inżynieria ruchu*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1999. 28, 30, 195
- [19] Downarowicz O.: *System eksploatacji. Zarządzanie zasobami techniki*. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom, 1997. 63, 197
- [20] Drobiszewski J., Smalko Z.: Analiza sytuacji niebezpiecznych w systemie transportowym z wykorzystaniem drzewa zdarzeń pożądanych i niepożądanych. W: T. Salamonowicz, redaktor, *Niezawodność systemów. Zimowa Szkoła Niezawodności*. Sekcja Podstaw Eksploatacji Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk, Szczyrk, 2002. 23, 195, 196, 197
- [21] Dudek M.: Kryterium niezawodności w ocenie efektywności rozwoju sieci tramwajowej. W: *VI konferencja naukowo-techniczna z cyklu: Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego. Wspomaganie decyzji w projektowaniu i zarządzaniu transportem*. Poznań. 39, 41, 93
- [22] Findeis R.: Erfahrungen und Erkenntnisse aus dem Kriegseisenbahnbetriebe hinsichtlich der Ausgestaltung der Vehrkerhrsanlagen für erhöhte Leistungen. *Organ für Fortschritte im Eisenbahnwesen*, 1922, 21. 26
- [23] Gajna A., Korycki T.: Tramwaje wrocławskie przed drugą wojną światową (1878 - 1939). W: K. Lewandowski, B. Molecki, redaktorzy, *Tramwaje we Wrocławiu*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2006. 130
- [24] Gnienenko B.W., Bielajew J.K., Sołowiew A.D.: *Metody matematyczne w teorii niezawodności*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1968. 19
- [25] Grabski F.: *Semi-Markowskie modele niezawodności i eksploatacji*. Instytut Badań Naukowych PAN, Warszawa, 2002. 37
- [26] Grabski F., Jaźwiński J.: *Metody bayesowskie w niezawodności i diagnostyce*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2001. 41
- [27] Grabski F., Jaźwiński J.: Niezawodność transportowych systemów działania. *Zagadnienia eksploatacji maszyn*, 2003, 2 (134). 39
- [28] Grzywacz W., Burnewicz J.: *Ekonomika transportu*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1989. 8, 32
- [29] Gutenbaum J.: *Modelowanie matematyczne systemów*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 2003. 41
- [30] Heller S.: Potencjał eksploatacyjny urządzeń liniowych infrastruktury transportowej. *Zagadnienia eksploatacji maszyn*, 1985, 3-4 (63-64). 25, 26, 196
- [31] Ignasiak E., redaktor: *Badania operacyjne*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2001. 41

- [32] Iosifescu M.: *Skończone procesy Markowa i ich zastosowania*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1988. 36
- [33] Jaennecke L.: Betriebsstockungen. *Archiv für Eisenbahnwesen*, 1922. 26
- [34] Jaźwiński J., Smalko Z.: Wykorzystanie trójkątnego rozkładu prawdopodobieństwa w ocenie gotowości i niezawodności obiektów technicznych. W: *Problemy niezawodności obiektów technicznych i tolerowanie uszkodzeń w procesie realizacji zadań*. Zimowa Szkoła Niezawodności. Sekcja Podstaw Eksploatacji Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk, Szczyrk, 1997. 21
- [35] Jaźwiński J., Smalko Z.: Wykorzystanie rozkładu beta w ocenie gotowości i niezawodności technicznych środków transportowych. W: T. Salamonowicz, redaktor, *Komputerowo wspomagana analiza niezawodności systemów*. Zimowa Szkoła Niezawodności. Sekcja Podstaw Eksploatacji Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk, Szczyrk, 2001. 21, 22
- [36] Jaźwiński J., Smalko Z., Żurek J.: Związki między nieuszkodzalnością i skutecznością systemów transportowych, 2005. 30
- [37] Jaźwiński J., Żórek J.: Wykorzystanie drzewa zdarzeń i symulacji komputerowej do badania gotowości systemów wojskowych. W: *Metody sieciowe w inżynierii niezawodności*. Zimowa Szkoła Niezawodności, tom 1. Sekcja Podstaw Eksploatacji Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk, Szczyrk, 1999. 23
- [38] Kacprzyk J., Węglarz J., redaktorzy: *Modelowanie i optymalizacja. Metody i zastosowania*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 2002. 41
- [39] Karpiński J., Firkowicz S.: *Zasady profilaktyki obiektów technicznych*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1981. 23, 24
- [40] Kasprzak T., redaktor: *Badania operacyjne w nowoczesnym zarządzaniu*. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 1974. 41
- [41] Klin S.: Konstrukcja nowych typów nawierzchni tramwajowych (Etap II - Wstępne opracowanie konstrukcyjno - koncepcyjne). Nawierzchnie tramwajowe we Wrocławiu. Technical report, Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1972. 123
- [42] Klin S.: Konstrukcje nawierzchni tramwajowych stosowane na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. Technical report, Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1972. 123
- [43] Knopik L.: Maksymalizacja zysku w diagnostycznym systemie eksploatacji pojazdów z wykorzystaniem procesów semi-Markowa. *Zagadnienia eksploatacji maszyn*, 2003, 1 (133). 37
- [44] Knopik L.: Optymalizacja wartości wskaźników efektywności dla modelu procesu eksploatacji. *Zagadnienia eksploatacji maszyn*, 2004, 1 (137). 37
- [45] Koch M.: Efektywność ekonomiczna w procesie modelowania systemu eksploatacji. W: Z. Cygan, S. Ziemia, redaktorzy, *Modelowanie i symulacja systemów eksploatacji maszyn*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1987. 32, 33, 35, 36

- [46] Konieczny J.: *Sterowanie eksploatacją maszyn*. Państwowe Wydawnictwa Naukowe, Warszawa, 1975. 41
- [47] Konieczny J.: *Inżynieria systemów działania*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1983. 41, 120
- [48] Korbicz J., Kościelny J.M., Kowalczyk Z., Cholewa W., redaktorzy: *Diagnostyka procesów. Modele. Metody sztucznej inteligencji. Zastosowania*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2002. 23
- [49] Korzan B.: *Elementy teorii grafów i sieci. Metody i zastosowania*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1978. 63
- [50] Korzeń Z.: *Logistyczne systemy transportu bliskiego i magazynowania. Infrastruktura, technika, informacja*. ILiM, Poznań, 1998. 59, 60
- [51] Korzeń Z.: *Logistyczne systemy transportu bliskiego i magazynowania. Projektowanie, Modelowanie, Zarządzanie*. ILiM, Poznań, 1999. 17
- [52] Kotowska-Jelonek M., Dyr T.: Analiza CBA w studiach wykonalności projektów transportowych finansowanych z funduszu Unii Europejskiej. *Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Transport*, 2004, 52. 32, 33, 34, 35
- [53] Koźmiński A., Piotrowski W., redaktorzy: *Zarządzanie. Teoria i praktyka*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997. 13
- [54] Kruszyna M.: Optymalizacja sterowania ruchem drogowym nakierowana na wymagania użytkowników z różnych grup. W: *VI konferencja naukowo-techniczna z cyklu: Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego. Wspomaganie decyzji w projektowaniu i zarządzaniu transportem*. Poznań. 30, 73, 77
- [55] Kubalski J.: *Tory tramwajowe*. Komunikacja miejska. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1978. 26, 123
- [56] Liščák Š., Storoška M.: Model wpływu warunków eksploatacji pojazdu na jego niezawodność. *Eksploatacja i Niezawodność*, 2000, 4/2000. 40
- [57] Madeyski M., Lissowska E., Morawski W.: *Transport. Rozwój i integracja*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1978. 34
- [58] Makuch J.: Torowiska tramwajowe - wczoraj i dziś. W: K. Lewandowski, B. Molecki, redaktorzy, *Tramwaje we Wrocławiu*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2006. 58, 133
- [59] Martan L.: *Rachunek efektywności rzeczowych przedsięwzięć inwestycyjnych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2002. 32, 33, 34
- [60] Martin F.F.: *Wstęp do modelowania cyfrowego*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1976. 41
- [61] Mendyk E.: *Ekonomika i organizacja transportu*. Wyższa Szkoła Logistyki, Poznań, 2002. 33
- [62] Migdalski J., redaktor: *Poradnik niezawodności. Podstawy matematyczne*. Wydawnictwa Przemysłu Maszynowego „WEMA”, Warszawa, 1982. 20, 21, 25, 194

- [63] Morrison F.: *Sztuka modelowania układów dynamicznych*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1996. 83
- [64] Niziński S., Żółtowski B.: *Informatyczne systemu zarządzania eksploatacją obiektów technicznych*. Wydawnictwo MARKAR, Olsztyn – Bydgoszcz, 2001. 29, 31, 32
- [65] Oskarbski J.: Wpływ zmian w strukturze sieci ulicznej miasta na efektywność funkcjonowania transportu na przykładzie planowanej obwodnicy Olsztyna. W: *VI konferencja naukowo-techniczna z cyklu: Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego. Wspomaganie decyzji w projektowaniu i zarządzaniu transportem*. Poznań. 39
- [66] Ossberger M.: *Leistungsfähigkeit von zweigleisigen Eisenbanstrecken*. Rozprawa doktorska, Universität Wien, Wien, 2000. 27
- [67] Oziemski S.: *Efektywność eksploatacji maszyn. Podstawy techniczno - ekonomiczne*. Wyd. ITE, Radom, 2000. 13, 17, 18, 33
- [68] Peszel A.: Koncepcja analizy ekonomicznej ruchu kolejowego na liniach i odcinkach przeznaczonych do zawieszenia lub likwidacji. *Problemy ekonomiki transportu*, 2000, 1 (109). 31
- [69] Pfohl H.C.: *Zarządzanie logistyką. Funkcje i komponenty*. ILiM, Poznań, 1998. 18
- [70] Pham H., Wang H.: Optimal  $(\tau, T)$  opportunistic maintenance of k-out-of-n:G system with imperfect PM and partial failure. *Naval Research Logistics*, 2000, 47. 24
- [71] Piasecki S.: Struktura problemowa nauk o eksploatacji obiektów technicznych. *Eksploatacja i niezawodność*, 1999, 3/99. 28
- [72] Piskozub A., redaktor: *Ekonomika transportu*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1979. 32
- [73] Pszczółowski T.: *Celowość, skuteczność, efektywność, Prakseologia Nr 3*. PWN, Wrocław, 1977. 18
- [74] Redmer A.: *Wspomaganie decyzji w zakresie strategicznego zarządzania taborem w przedsiębiorstwach samochodowego transportu towarowego*. Rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Poznań, 2004. 39
- [75] Reisig W.: *Sieci Petriego*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1988. 41
- [76] Rydzkowski W., Wojewódzka-Król K., redaktorzy: *Transport*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2006. 31
- [77] Schneeweis W.G.: *Petri Nets for Reliability Modeling*. LiLoLe-Verlag GmbH, Hagen, 1999. 41
- [78] Sienkiel M., Molecki B.: Tramwaje wrocławskie w XXI wieku. W: K. Lewandowski, B. Molecki, redaktorzy, *Tramwaje we Wrocławiu*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2006. 132
- [79] Sienkiewicz P.: *Teoria efektywności systemów*. Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk, Wrocław, 1987. 16
- [80] Sitzmann E.: Eisenbahnbetriebswissenschaft gestern und heute. *Eisenbahntechnische Rundschau*, 1973, 4. 26

- [81] Skomra A., Tomaszek H.: Metoda oceny efektywności eksploatacji wojskowego statku powietrznego. *Zagadnienia eksploatacji maszyn*, 1996, 3 (107). 29
- [82] Skowron M.N.: *Efektywność systemów logistycznych*. PWE, Warszawa, 2000. 18
- [83] Smalko Z.: *Modelowanie eksploatacyjnych systemów transportowych*. Instytut Technologii Eksploatacji, Radom, 1996. 36
- [84] Soja W.: Określanie obciążenia przenoszonego przez rozjazdy na stacjach pośrednich. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Transport*, 2004, 52. 26
- [85] Spychalski G.: *Zarys historii myśli ekonomicznej*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2002. 13
- [86] Stanisław T.: *Funkcje jednej zmiennej w badaniach ekonomicznych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1993. 79, 81, 83
- [87] Starke P.H.: *Sieci Petri*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1987. 41
- [88] Sterner W.: *Od via appia do autostrady*. Iskry, Warszawa, 1974. 46, 196
- [89] Szagała P., Dobrosielski M.: Analiza porównawcza wytycznych oceny efektywności ekonomicznej inwestycji transportowych. W: *VI konferencja naukowo-techniczna z cyklu: Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego. Wspomaganie decyzji w projektowaniu i zarządzaniu transportem*. Poznań. 35
- [90] Szapiro T., redaktor: *Decyzje menedżerskie z Excelem*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2000. 81
- [91] Szpytko J.: Ewolucja systemów i środków transportu bliskiego w przemyśle. *Inżynieria Maszyn*, 2003, v. 8, z. 4, 7. 59
- [92] Tomanek R.: *Funkcjonowanie transportu*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Karola Adamieckiego w Katowicach, Katowice, 2004. 8, 46
- [93] Tomaszek H.: Modele oceny efektywności eksploatacji technicznych systemów z uwzględnieniem teorii odnowy. *Zagadnienia eksploatacji maszyn*, 1992, 1 (89). 40, 41
- [94] Tomaszek H., Skomra A.: Problemy budowy wskaźników efektywności eksploatacji wojskowych statków powietrznych. *Zagadnienia eksploatacji maszyn*, 1999, 2 (118). 29
- [95] Tomaszek H., Wróblewski M.: Metoda oceny efektywności eksploatacji wojskowych statków powietrznych z uzupełnieniem pomiędzy operacjami. *Zagadnienia eksploatacji maszyn*, 1999, 4 (120). 29
- [96] Tomaszek H., Wróblewski M.: Zarys metody oceny efektywności eksploatacji wojskowych statków powietrznych z uwzględnieniem kosztów. *Zagadnienia eksploatacji maszyn*, 1999, 3 (119). 29
- [97] Tomaszek H., Wróblewski M.: Metoda efektywności eksploatacji wojskowych statków powietrznych bez uzupełniania pomiędzy operacjami. *Zagadnienia eksploatacji maszyn*, 2000, 1 (121). 29
- [98] Tomaszek H., Wróblewski M.: Metoda oceny efektywności eksploatacji wojskowych statków powietrznych. *Zagadnienia eksploatacji maszyn*, 2002, 4 (132). 29
- [99] Twaróg J.: *Mierniki i wskaźniki logistyczne*. ILiM, Poznań, 2003. 18
- [100] Tyszer J.: *Symulacja cyfrowa*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1990. 196

- 
- [101] Ważyńska-Fiok K., Jaźwiński J.: *Niezawodność systemów technicznych*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1990. 39
- [102] Woch J.: *Podstawy inżynierii ruchu kolejowego*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1983. 27, 31, 194, 195
- [103] Woropay M., redaktor: *Podstawy racjonalnej eksploatacji maszyn*. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Bydgoszcz — Radom, 1996. 25, 28, 29
- [104] Woropay M., Landowski B., Żurek J.: Gotowość operacyjna podsystemu wykonawczego systemu transportowego w cyklicznie zmieniających się fazach eksploatacji. *Zagadnienia eksploatacji maszyn*, 2004, 3 (139). 23, 194, 195
- [105] Żurek J.: Analiza systemu eksploatacji z punktu widzenia kosztów i niezawodności. *Zagadnienia eksploatacji maszyn*, 2004, 4 (140). 19
- [106] Żółtowski B., Niziński S.: *Modelowanie procesów eksploatacji maszyn*. MARKAR-BZ., Bydgoszcz – Sulejówek, 2002. 38



# Spis rysunków

1.1	Klasyfikacja systemów sztywnotorowych . . . . .	9
2.1	Prawo harmonii Adamieckiego . . . . .	14
2.2	Wybrane przebiegi funkcji zawodności dla rozkładu trójkątnego . . . . .	22
2.3	Funkcje satysfakcji i akceptacji . . . . .	31
2.4	Przebieg pracy . . . . .	44
3.1	Sieci $0r$ o nierównomiernym poziomie obsługi obszaru . . . . .	48
3.2	Dwie linie $1r$ naprzemiennie obsługujące pojedynczy korytarz transportowy . . . . .	49
3.3	Przykłady sieci $1r$ . . . . .	50
3.4	Zwiększanie niezawodności i elastyczności sieci sztywnotorowych . . . . .	50
3.5	Scenariusze objazdów dla pojedynczego korytarza w sieci $2r$ bez krzyżowania torów . . . . .	51
3.6	Scenariusze objazdów dla pojedynczego korytarza w sieci $2r$ z krzyżowaniem torów . . . . .	51
3.7	Typ A sieci $2r$ bez krzyżowania torów . . . . .	52
3.8	Typ A sieci $2r$ z krzyżowaniem torów . . . . .	52
3.9	Typ B sieci $2r$ bez krzyżowania torów . . . . .	53
3.10	Typ B sieci $2r$ z krzyżowaniem torów . . . . .	53
3.11	Typ C sieci $2r$ . . . . .	54
3.12	Wyprowadzenie sieci o polach trójkątnych . . . . .	54
3.13	Sieć $2r$ o polach trójkątnych . . . . .	55
3.14	Węzeł potrójny . . . . .	55
3.15	Węzeł poczuworny . . . . .	56
3.16	Przykłady systemów sieci sztywnotorowych . . . . .	57
3.17	Transmotor - rozwiązanie firmy TECHMATRANS . . . . .	58
3.18	Skrzyżowanie torów bez elementów ruchomych . . . . .	60
3.19	Skrzyżowanie torów z elementami ruchomymi . . . . .	61
3.20	Rozjazd zwyczajny, prosty . . . . .	62
3.21	Budowa modułowa sieci sztywnotorowej . . . . .	64
3.22	Wyznaczanie węzła sieci sztywnotorowej . . . . .	65
4.1	Związek funkcji kary $g(x)$ z funkcją akceptacji niedogodności $k(x)$ . . . . .	73
4.2	Podział kartezjańskiego układu współrzędnych na pola . . . . .	75
4.3	Warianty funkcji kary $g(x)$ dla $x < 0$ . . . . .	75
4.4	Związek funkcji kary $h(y)$ z funkcją satysfakcji $m(z)$ . . . . .	78
4.5	Ogólna postać funkcji kary $f(x, y)$ . . . . .	80

4.6	Funkcje $S$ . . . . .	82
4.7	Funkcja kary $g(x)$ . . . . .	84
4.8	Funkcja kary $h(y)$ . . . . .	87
4.9	Interpretacja obsługiwanych punktów krańcowych trasy . . . . .	88
4.10	Wtórne funkcje satysfakcji i akceptacji . . . . .	89
4.11	Objazd i rozłączenie linii . . . . .	102
4.12	Wpływ wydłużenia drogi i opuszczenia obsługiwanych punktów na wartość kary określającej efektywność eksploatacji linii tramwajowej. . . . .	105
4.13	Ucięcie linii . . . . .	111
4.14	Złączenie linii . . . . .	114
4.15	Zmienność kształtu funkcji kary $g(x)$ . . . . .	115
4.16	Zmienność kształtu funkcji kary $h(y)$ . . . . .	117
4.17	Sieć SD-1 . . . . .	118
5.1	Poglądowa mapa układu torów tramwajowych we Wrocławiu . . . . .	131
5.2	Rozkład różnic unikalnych wartości wyników $(f(x, y), E_c)$ . . . . .	146
5.3	Charakterystyka linii sieci. . . . .	150
5.4	Liczności występowania wartości funkcji kary $f(x, y)$ . . . . .	152
5.5	Globalna efektywność eksploatacji sieci $E_c$ . . . . .	154
5.6	Lokalizacja przebudowanego odcinka w czasie modernizacji sieci . . . . .	161
5.7	Linia nr 1 we Wrocławiu . . . . .	164
5.8	Zmodyfikowana linia 01A zgodnie z topologią sieci w dniu 2006.10.15 . . . . .	166
C.1	Ankieta - strona 1 . . . . .	204
C.2	Ankieta - strona 2 . . . . .	205
C.3	Ankieta - strona 3 . . . . .	206
C.4	Ankieta - strona 4 . . . . .	207
D.1	Fragment pliku: powiazania0001.db . . . . .	212
D.2	Fragment pliku: odleglosci0001.db . . . . .	212
D.3	Plik: siec_powiazania.db . . . . .	213
D.4	Plik: siec_odleglosci.db . . . . .	213
D.5	Plik: linie_potencjal.db . . . . .	213
D.6	Fragment pliku: potencjal0001.db . . . . .	214
D.7	Plik: siec_przystanki.db . . . . .	214
D.8	Plik: trasy_siec.db . . . . .	215
D.9	Fragment pliku: trasy_objazd.db . . . . .	216
D.10	Plik zapisu linii normalnej: 02_linia_def.db . . . . .	217
D.11	Fragment pliku, zapis linii zastępczej: 70_linia_def.db . . . . .	218
D.12	Fragment pliku zapisu objazdów: 07A_20051210.db . . . . .	219
D.13	Plik: siec_odcinki.db . . . . .	220

---

D.14	Fragment pliku odcinki0001.db . . . . .	220
D.15	Fragment pliku: przystanki0001.db . . . . .	220
D.16	Dane opisujące linie sieci w kolejnych etapach ich przygotowania . . . . .	226
D.17	Segregacja danych o trasach linii wg dat . . . . .	227
D.18	Przygotowanie danych do importu do bazy danych . . . . .	228
D.19	Przygotowanie danych o charakterystykach uzupełniających modułów i linii . . . . .	233
D.20	Wyznaczenie modułów należących do odcinków wyłączonych i objazdów tras. . . . .	234
D.21	Wyznaczenie modułów wyłączonych i tras objazdów na liniach rozłączonych . . . . .	235
E.1	Wartości funkcji kary $f(x,y)$ . . . . .	239
E.2	Trasy alternatywne linii 2005.12.10 - 2006.07.17 . . . . .	242
E.3	Trasy alternatywne linii 2006.07.18 - 2006.12.31 . . . . .	242
E.4	Różnica ilości alternatywnych tras linii po modernizacji sieci . . . . .	243
E.5	Udział odcinka w trasach . . . . .	245
E.6	Różnica w liczbie tras w jakich bierze udział dany odcinek . . . . .	245
F.1	Odcinki wyłączone sieci: 2006-03-11 . . . . .	262
F.2	Odcinki wyłączone sieci: 2006-03-12 . . . . .	262
F.3	Odcinki wyłączone sieci: 2006-03-31 . . . . .	263
F.4	Odcinki wyłączone sieci: 2006-04-01 . . . . .	263
F.5	Odcinki wyłączone sieci: 2006-06-23 . . . . .	264
F.6	Odcinki wyłączone sieci: 2006-06-24 . . . . .	264
F.7	Odcinki wyłączone sieci: 2006-07-14 . . . . .	265
F.8	Odcinki wyłączone sieci: 2006-07-15 . . . . .	265
F.9	Odcinki wyłączone sieci: 2006-07-17 . . . . .	266
F.10	Odcinki wyłączone sieci: 2006-07-18 . . . . .	266
F.11	Odcinki wyłączone sieci: 2006-08-09 . . . . .	267
F.12	Odcinki wyłączone sieci: 2006-08-10 . . . . .	267
F.13	Odcinki wyłączone sieci: 2006-10-20 . . . . .	268
F.14	Odcinki wyłączone sieci: 2006-10-21 . . . . .	268
F.15	Mapa sieci (1) - dozwolone trasy przejazdu . . . . .	269
F.16	Mapa sieci (2) - długości odcinków . . . . .	270
F.17	Mapa sieci (3) - przystanki . . . . .	271
F.18	Mapa sieci (4) - odcinki sieci . . . . .	272

# Spis tabel

2.1	Wzory do wyznaczenia gotowości systemów . . . . .	21
4.1	Funkcje $S$ . . . . .	81
4.2	Scenariusze objazdu . . . . .	104
4.3	Przedziały zmienności funkcji składowych opisujących efektywność globalną eksploatacji linii tramwajowej . . . . .	107
4.4	Dekompozycja linii rozłączonej . . . . .	109
4.5	Wybrane warianty ucięcia linii . . . . .	112
4.6	Charakterystyka uzupełniająca modułów sieci $SD - 1$ . . . . .	119
5.1	Zmiany przebiegu linii tramwajowych we Wrocławiu (2001 - 2006) . . . . .	132
5.2	Liczba następujących modułów . . . . .	136
C.1	Wyniki ankiety . . . . .	203
E.1	Wyniki obliczeń: efektywność globalna $E_c$ . . . . .	237
E.2	Liczba alternatywnych tras linii . . . . .	240

# Załączniki

## **A. Definicje**

**Definicja 1. Dyspozycyjność** — maksymalna część czasu kalendarzowego urzędzenia, jaka w danych warunkach może być wykorzystana na pracę. W „urzędzeniach wielokrotnie naprawianych, w których ponadto zdarzają się inne losowe przerwy w pracy, przy częściowej elastyczności harmonogramu charakteryzuje zdolność danego urzędzenia do wykonywania efektywnej pracy” [8]

**Definicja 2. Efektywność systemu technicznego w sensie opisowym** stanowi łączną cechę systemu i procesu jego eksploatacji, wyrażającą ocenę skutków zastosowania systemu [12].

**Definicja 3. Efektywność systemu technicznego w sensie normatywnym** stanowi stopień realizacji zadań stawianych systemowi, mający miejsce w określonych warunkach eksploatacji i w określonym przedziale czasu [12].

**Definicja 4. Gęstość sieci transportowej** jest to liczba węzłów sieci odniesiona do jednoski obszaru. [102]

**Definicja 5. Gotowość** (ang. *availability*) obiektu naprawialnego (obiektem któremu przywraca się sprawność, gdy ją utraci) — jest to jego zdolność do pełnienia funkcji, gdy tego wymaga się od niego.[62]

**Definicja 6. Gotowość** jest to prawdopodobieństwo, że obiekt będzie gotowy do pełnienia swych funkcji w chwili  $t$ . [62]

**Definicja 7. Gotowość** jest to frakcja sumy okresów eksploatacji obiektu, w ciągu której obiekt pełni swe funkcje lub jest zdolny do pełnienia swych funkcji.[62]

**Definicja 8. Gotowość funkcjonalna**  $G_f$  jest to prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia, polegającego na tym, że w dowolnej chwili czasu  $t$ ,  $t \in \langle t_i, t_j \rangle$  ( $t_i, t_j \geq 0, t_i \gg t_j$ ) obiekt będzie znajdował się w stanie zdatności. [104]

**Definicja 9. Gotowość operacyjna** obiektu technicznego  $G_o$  jest iloczynem gotowości potencjalnej  $G_{pot}$  oraz gotowości zadaniowej  $G_z$  [104]:

$$G_o = G_{pot} \cdot G_z \quad .$$

**Definicja 10. Gotowość początkowa**  $G_p$  systemu to prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia polegającego na tym, że system techniczny po otrzymaniu zadania przystąpi do jego realizacji w czasie  $T_p$ ,  $T_p \geq 0$ , nie dłuższym od przyznanej rezerwy czasowej  $t_g$ ,  $t_g \geq 0$  [104]:

$$G_p(t_g) = P(T_p \geq t_g) \quad .$$

**Definicja 11.** **Gotowość potencjalna** obiektu technicznego rozumiana jest jako jego „cecha zbiorcza”, tzn. że zależy od wielu cech, przy tym do cech najistotniejszych zalicza się: nieuszkodzalność, trwałość, naprawialność oraz podatność obsługową. Gotowość potencjalna stanowi iloczyn gotowości początkowej  $G_p$  oraz gotowości funkcjonalnej  $G_f$  [104]:

$$G_{pot} = G_f \cdot G_p \quad .$$

**Definicja 12.** **Gotowość zadaniowa**  $G_z$  to taka właściwość obiektu technicznego  $E$ , która charakteryzuje go z punktu widzenia możliwości zrealizowania zadania lub utrzymania stanu zdatności, umożliwiającą realizację zadania w wymaganym przedziale czasu  $T_z = \langle t_0, t_z \rangle$ ,  $t_0, t_z \geq 0$ ,  $t_z > t_0$  [104]:

$$G_z(t) = P\{T \geq (t_z - t_0) \mid e(t_0) = 1\} \quad ,$$

gdzie:  $T$  - czas poprawnej pracy obiektu,  $T \geq 0$ ;  $e(t_0) = 1$  - oznacza, że obiekt  $E$  w chwili  $t_0$  jest w stanie zdatności,  $t_0$  - początek rozpatrywanego przedziału czasu zdatności,  $t_z$  - koniec rozpatrywanego przedziału czasu zdatności.

**Definicja 13.** **HCM (metody HCM)** - ang. *Highway Capacity Manual*, zbiór metod składających się na podręcznik do obliczania przepustowości, wydany w kolejnych wersjach w latach 1950, 1965, 1985, 1994. Polskie oznaczenia to HCM-50, HCM-65, HCM-85, HCM-94, HCM-97. Mimo tego, powstały na gruncie badań specyficznego ruchu amerykańskiego, z wielu powodów, znalazły zastosowanie w innych krajach (w tym również w Polsce). [18]

**Definicja 14.** **Kolizja** - stan ruchu w którym dwie jednostki znajdują się w tym samym momencie w strefie wzajemnego oddziaływania.

Przez strefę wzajemnego oddziaływania rozumie się odcinek drogi, połączenie lub skrzyżowanie takich dwóch odcinków drogi, że znajdowanie się w tym rejonie jednej jednostki ogranicza swobodny ruch drugiej jednostki w następnych chwilach. [102]

**Definicja 15.** **Kolizyjność ruchu** jest to zjawisko oddziaływania na siebie jednostek ruchu. [102]

**Definicja 16.** **Krzyżownica** - część rozjazdu torowego lub skrzyżowania w której następuje przecięcie szyn torów rozjazdu.

**Definicja 17.** **Neutralizacja wypadku** ma miejsce wtedy gdy następuje wypadek, ale jego rozmiary są kontrolowane a skutki mogą być zmniejszone. Sytuacja tego rodzaju ma miejsce gdy dochodzi do niezdatności urządzenia funkcjonalnego, automatycznego urządzenia zabezpieczającego, oraz sterownego zabezpieczenia czynnego i gdy nie popełniono błędu drugiego rodzaju w rozpoznaniu stanu zabezpieczeń. [20]



**Definicja 18.** *Niewykonanie zadania następuje gdy zadanie transportowe ulega przerwaniu z powodów fałszywych alarmów będących skutkiem popełnienia błędów pierwszego rodzaju w ocenie stanu automatycznego urządzenia zabezpieczającego, lub sterownego zabezpieczenia czynnego, oraz z powodu niezdatności automatycznego urządzenia zabezpieczającego.[20]*

**Definicja 19.** *Potencjał eksploatacyjny urządzeń liniowych infrastruktury transportowej (ULIT) jest funkcją czasu; jego wielkość określa zdolność ULIT do realizacji zadań transportowych, tzn. jest miarą obciążenia transportowego, jakie może być przekazane na ULIT począwszy od danej chwili  $t$  do momentu całkowitego wyczerpania się jego zdolności użytkowych. [30]*

**Definicja 20.** *Sieć kolejkowa jest grafem, w którym wierzchołki (węzły) reprezentujące źródła zgłoszeń, kolejki zadań, stanowiska obsługi i inne zasoby są połączone krawędziami skierowanymi, określającymi zasady przepływu zadań między poszczególnymi węzłami sieci. [100]*

**Definicja 21.** *Sprawność przewozów na określonej trasie  $k$  określona jest jako stosunek rzeczywistego natężenia ruchu na tej trasie w określonym horyzoncie czasowym do oczekiwanego (tj. do zapotrzebowania na przewozy) [15]*

$$S_k(t) = \frac{r_k(t) + r'_k(t)}{y_k(t)},$$

gdzie:  $r_k(t), r'_k(t)$  - natężenia przewozów na trasie  $k$  oraz trasie alternatywnej,  $y_k(t)$  - zapotrzebowanie na przewozy tą trasą.

**Definicja 22.** *Sztywnotorowa [trakcja,kolej] - (tor sztywny), oznacza transport realizowany po szynach. Określenie przejęte za [88, s. 155]. Ogólnie termin transport sztywnotorowy oznacza, iż pojazdy mogą poruszać się tylko charakterystycznym dla danej technologii torem. W pracy znaczenie jest szersze, oznacza ruch pojazdów na linii realizowany w sposób ustalony, po stałym torze, bez możliwości wyprzedzania lub ominięcia pojazdu poprzedzającego.*

**Definicja 23.** *Walidacja to potwierdzenie przez przedstawienie dowodu obiektywnego, że zostały spełnione wyspecyfikowane wymagania; proces walidacji może się składać z następujących działań: wykonanie obliczeń alternatywnych, porównanie nowej specyfikacji projektu z podobną, podejmowanie badań i prezentacji, przeglądanie dokumentów przed ich wydaniem (norma PN-EN ISO 9000)*

**Definicja 24.** *Własność obiektu technicznego jest cechą, o której orzeka się wyłącznie na podstawie wiedzy o tym obiekcie. Utrata własności obiektu sprawia, że*

*obiekt przestaje być tym czym był, a staje się innym obiektem. Jego główną własnością są funkcje podstawowe określone przez projektanta oraz funkcje wtórne (uzupełniające funkcje podstawowe – lecz nie niezbędne do ich spełnienia). [19]*

**Definicja 25. Właściwość obiektu technicznego** jest cechą względną, o której orzeka się na podstawie relacji do okoliczności lub obiektów otoczenia. Główną właściwością obiektu technicznego jest jego funkcjonalność, rozumiana jako jego przystosowanie do spełniania danych funkcji i utrzymania go w pożądanym stanie (np. funkcjonalność samochodu rozumiana jako zgodność funkcji samochodu i potrzeb użytkowych właściciela oraz zgodność potrzeb konserwacyjno-naprawczych samochodu i możliwości obsłużenia samochodu przez właściciela).[19]

**Definicja 26. Wykonanie zadania** następuje gdy nie dojdzie do niezdatności urządzenia funkcjonalnego i zabezpieczającego oraz w przypadku niepopelnienia błędu drugiego rodzaju w rozpoznaniu stanu automatycznego urządzenia zabezpieczającego.

**Definicja 27. Wypadek** ma miejsce gdy nastąpią kolizja z elementem środowiska i /lub gdy ofiary śmiertelne na skutek niezdatności zabezpieczeń oraz popełnienia błędów pierwszego rodzaju. [20]

## **B. Narzędzia**

W opracowaniu niniejszej pracy oraz podczas badań korzystano z wielu narzędzi objętych prawami autorskimi. Dla wykazania zgodności ich wykorzystania z licencjami na jakich są one dystrybuowane, podaje się ich nazwy wraz z zasadami obowiązującymi ich użycie.

**Skład i edycja tekstu** : Vim (Charityware - GPL<sup>1</sup> compatible), TeX Live (LaTeX Project Public License).

**Przygotowanie grafik** : Inkscape (GPL), GNU Image Manipulation Program (GPL), Dia (GPL), OpenOffice.org Draw (LGPL<sup>2</sup>/SISSL<sup>3</sup>), .

**Przetwarzanie i analiza danych** : bash (GPL), Python (GPL compatible) [z pakietami: SciPy (BSD<sup>4</sup> compatible, DFSG<sup>5</sup> free), numpy (BSD compatible, DFSG free), Numeric (BSD compatible, DFSG free), psycopg2 (GPL), mayavi (GPL), Matplotlib (DFSG free), biggles (GPL)], Ipython (DFSG free), PostgreSQL (BSD), Octave (GPL, DFSG free), R project (GPL).

**Wyznaczenie długości odcinków sieci** : Apache (Apache Software License), API<sup>6</sup> usługi maps.google.com.

Oprogramowanie zastosowane w trakcie prac działało na systemie Debian GNU/Linux.

---

<sup>1</sup> GPL oznacza General Public License.

<sup>2</sup> LGPL oznacza Lesser General Public License.

<sup>3</sup> SISSL oznacza Sun Industry Standards Source License.

<sup>4</sup> BSD oznacza Berkeley Software Distribution License, pełny skrót BSDL.

<sup>5</sup> DFSG oznacza Debian Free Software Guidelines.

<sup>6</sup> API oznacza Application Programming Interface.

## **C. Ankieta**

Dla weryfikacji założeń modelu oceny efektywności eksploatacji sieci sztywnotorowej oraz jego implementacji na obiekcie wrocławskiej sieci tramwajowej przeprowadzona została ankieta.

Ankieta adresowana była do grupy ekspertów, których opinia pozwoliła na dobór odpowiedniej wersji modelu oraz zweryfikowanie jej poprawności.

Ankieta składa się z dwóch części: pierwsza (pytania 1–8) dotyczy funkcji kary związanej ze zmianą długości trasy zaś druga (pytania 9–13) związana jest z opisem funkcji określającej karę za nieobsłużenie przystanków na trasie planowej.

Ankieta rozpoczyna pytanie dotyczące przyjętej wersji wzoru odpowiedniego dla sieci tramwajowej. Zgodnie z nim skrócenie drogi wynikające z realizacji objazdu wyłączonego odcinka linii oceniane jest przez mniejszościową grupę probantów jako negatywne. Odpowiada to przytoczonym w pracy rozważaniom i wynika z przyjętej perspektywy oceny, wskazując na to, że respondenci skoncentrowali się na perspektywie pasażera błędnie szacując lub pomijając rolę wpływu zaburzeń danej linii na całość sieci. Z uwagi na inne podejście w ocenie, biorące za perspektywę oceny infrastrukturę sieci, mniejszościowa grupa wyrażająca taką opinię zgodna jest z oczekiwaniami zakładanymi w trakcie formułowania ankiety.

Nieliniowość oceny konsekwencji objazdu (pytanie 2) określona jest jednomyślnie przez respondentów. Z uwagi na adresatów, aby ograniczyć wieloznaczność odbioru pytania, nie dotyczyło ono wprost zmiany długości trasy. Pytanie sformułowano jednak tak aby zapewnić poprawność interpretacji odpowiedzi.

Kolejne pytania precyzują kształt krzywej funkcji kary wynikającej ze zmiany długości trasy.

Ponownie uzyskanie pojedynczych odpowiedzi 3(b) i 3(c), wskazuje na przyjęcie perspektywy oceny pasażera. Większość odpowiedzi potwierdza jednak hipotezę ponadproporcjonalnego przyrostu kary występującej w przedziale  $(0, a)$  obszaru  $\mathfrak{A}$  funkcji (str. 105).

Pytanie czwarte dotyczy szerokości przedziału  $(a, b)$  obszaru  $\mathfrak{B}$  oraz jego położenia. Z uwagi na powiązanie prostych aproksymujących funkcje  $g(x)$  i  $h(y)$  (str. 106) przedział ten dotyczy funkcji kary związanej ze zmianą długości trasy jak i wpływa na parametry funkcji związanej z ilością opuszczonych przystanków.

Pytanie piąte jest weryfikacją poprzedniego z uwzględnieniem występowania wyraźnego trendu przebiegu funkcji,

Pytanie szóste uszczegóławia poprzedzając pytając o charakter tej zmienności. W pytaniu tym dwukrotne zaznaczenie odpowiedzi (b) wynikało z błędnej jego interpretacji. Pytanie to dotyczyło opisanej na rys. 4.1(c) i 4.4(c) zmienności przyrostów krańcowych funkcji  $g(x)$  i  $h(y)$ . Pytanie to mogło jednak zostać odczytane w ten sposób, że postuluje się występowanie wartości wydłużenia drogi po której pasażer staje się bierny i obojętny na dalsze jej zwiększanie. Wątpliwości w odczycie pytania zostały wyjaśnione już po

otrzymaniu odpowiedzi i ze względu na dochowanie wierności pierwotnych wyników nie zostały one skorygowane.

Pytanie siódme dotyczy wyznaczenia przedziału  $(b, +\infty)$  odpowiadającego obszarowi  $\mathcal{C}$ . Jest ono również, jako powiązane z pytaniami 2-6, weryfikacją otrzymanych wcześniej odpowiedzi.

Pytanie ósme dotyczy istotności wrażliwości funkcji kary na długość linii (str. 85). Pojawiającą się raz odpowiedź (a) uzasadniać można tym, że w przypadku rzeczywistych linii tramwajowych długość linii jest relatywnie podobna. Z tego względu znaczenie bezwzględnej wartości wydłużenia trasy jest ukryte.

Zgodnie z pytaniem dziewiątym wszystkie przystanki na trasie mają te same znaczenie. Wg. dwóch odpowiedzi przystankom środkowym należy przypisać większe znaczenie jednak jest to grupa mniejszościowa oraz bardziej wynika z innej perspektywy oceny<sup>1</sup> niż błędności przyjętych założeń projektowych modelu.

Odpowiedź (a) w pytaniu dziesiątym jest typowa przy uwzględnieniu braku wpływu linii na całość sieci. Ustalono wcześniej że wszystkie przystanki na trasie mają takie same znaczenie – odnosi się to jednak do ich położenia na trasie linii a nie liczebności. Odpowiedź (c) przy uwzględnieniu braku odpowiedzi na pytanie trzynaste powoduje częściowy brak spójności oceny, co wskazuje na to iż nadać jej należy niższą wagę od pozostałych odpowiedzi.

W pytaniu jedenastym odnotowano przeciwstawne sobie odpowiedzi (c) i (d). Na pewno nie jest to więc zmienność tak wyraźna jak w przypadku funkcji  $g(x)$ . W pierwszym arkuszu pojawia się jednak podejrzenie sprzeczności. Respondent a1 podaje odpowiedź 10(d) i 11(d) przy jednoczesnym wskazywaniu na liniowość zmienności w przedziale  $(a, b)$  obszaru  $\mathfrak{B}$  (co wnioskować można z odpowiedzi 12 i 13). Skoro trend przyrostów funkcji na końcu przedziału  $(0, a)$  (obszar  $\mathfrak{A}$ ) jest ponad wprost proporcjonalny to przejście do opcji 11(d) jest niewykonalne bez wystąpienia istotnych zmian trendu funkcji w przedziale  $(a, b)$  obszaru  $\mathfrak{B}$ . Wnioskować można zatem o wystąpieniu pomyłki przy wypełnianiu arkusza ankietowego. Alternatywną interpretacją jest błędne odczytanie przez respondenta przebiegu funkcji przedstawionej w opcji 10(d) i 11(d) i dopatrywanie się w tych odpowiedziach funkcji wykładniczej. Zbyt mała liczność takich odpowiedzi sprawia, że nie ma podstaw do kwestionowania proponowanego w modelu przebiegu funkcji.

Przyjęcie mniejszościowej odpowiedzi 12(a) przeczy stwierdzonej wcześniej równości znaczenia poszczególnych przystanków linii, co przy uwzględnieniu ilościowego rozkładu odpowiedzi prowadzi do przyjęcia za dominującą odpowiedź 12(b).

---

<sup>1</sup> Odpowiedzi te wskazują na to że respondenci odnosili się do występujących potoków pasażerskich, uwzględniając skrócenie pokonywanych tras przez pasażerów oraz częstszą ich rotację w centrum miasta itp., co jest związane bardziej z jakością usługi przewozowej niż utrzymaniem infrastruktury.

Tabela C.1. Wyniki ankiety

Pytanie	a1	a2	a3	a4	a5	a6
1	b	a	a	b	b	b
2	b	b	b	b	b	b
3	a	a	b	c	a	a
4	b 20%,50%	b 10%,25%	b 10%,50%	b 10%,50%	b ...	b 20%,60%
5	b	b	a	b	b	b
6	b	a	b	a	a	a
7	0,9	0,5	0,8	1,0	...	0,8
8	c	a	c	c	...	c
9	a	c	c	a	c	c
10	d	d	a	d	c	d
11	d	c	d	...	c	c
12	b	b	a	a	b	b
13	b	a	b	b	...	a

gdzie: a1,a2,...,an - kwestionariusze ankietowe

Pytanie trzynaste wskazuje na bardziej liniowy przebieg funkcji  $h(y)$  w porównaniu z funkcją  $g(x)$ .



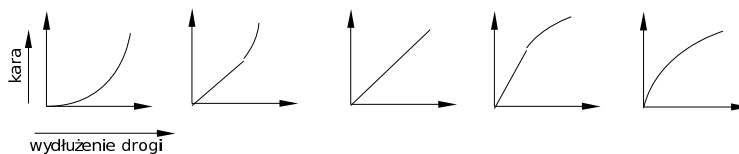
## Ankieta

Ankieta dotyczy oceny działania sieci transportowej w czasie wyłączeń spowodowanych planowanymi remontami lub nagłymi awariami infrastruktury. Wyłączenie odcinka jest zawsze zjawiskiem negatywnym. Z tego powodu przyjęto założenie, że oceniane może być tylko w kategorii kary. W przypadku normalnej pracy bez zmiany trasy kara wynosi 0.

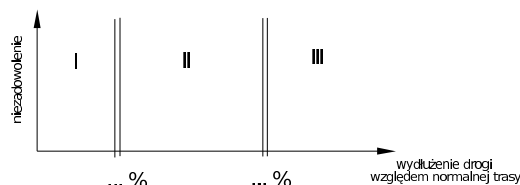
Proszę o określenie właściwej odpowiedzi:

Część A. Ocena wydłużenia drogi z punktu widzenia pojedynczego pasażera.

1. Skrócenie czasu przejazdu na linii będącej częścią sieci transportowej spowodowane wyłączeniem odcinka do remontu jest w ogólnej ocenie:
  - a) negatywne, powinno podlegać karze
  - b) neutralne (jako wynikające z topologii sieci a nie organizacji) nie powinno podlegać kategorii kary
  - c) pozytywne ( pasażer/ładunek szybciej osiąga następny etap podróży)
2. Oceniając konsekwencje przyrostu czasu podróży na trasie z powodu wyłączenia odcinka, można stwierdzić, że:
  - a) przyrost niezadowolenia pasażera jest liniowy
  - b) niezadowolenie narasta nieliniowo
- 3 – 8 gdy wybrana została odpowiedź 2B.
  3. Wybierz właściwy wg Twojej opinii przebieg oceny, wyrażonej funkcją kary, przy przy małym (kilka procent) wydłużeniu trasy liczonej względem jej całkowitej długości:
    - a)
    - b)
    - c)
    - d)
    - e)

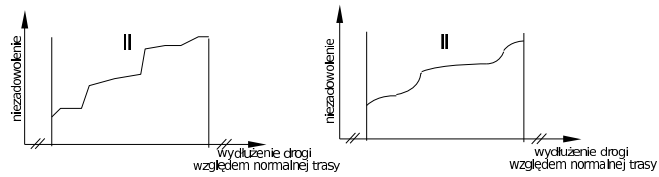


- a) nasila się ze wzrostem długości objazdu
  - b) nasila się tylko przy objazdach dłuższych niż pewna ustalona wartość
  - c) rośnie równomiernie
  - d) stabilizuje się przy objazdach dłuższych od pewnej określonej wartości
  - e) stabilizuje się ze wzrostem długości objazdu
4. Objazdy na trasie mają różną długość. Można przyjąć, iż:
    - I. część z nich znajduje się w zakresie tolerancji pasażera (reakcja nasila się zgodnie z przebiegiem wyznaczonym w pytaniu 3)
    - II. w pewnym zakresie długości wyrażonej jako część normalnej trasy niezadowolenie jest zmienne (zależy od długości względnej i bezwzględnej objazdu)
    - III. po osiągnięciu pewnej długości objazdu wyrażonej częścią normalnej trasy niezadowolenie osiąga tak wysoką wartość, iż się stabilizuje dążąc asymptotycznie do wartości maksymalnej przy długości objazdu dążącej do nieskończoności
 Według Ciebie:
    - a) nie, takie przedziały nie występują, względne wydłużenie objazdu nie ma wpływu na przebieg niezadowolenia
    - b) twierdzenie to jest poprawne (proszę oszacować przedziały)

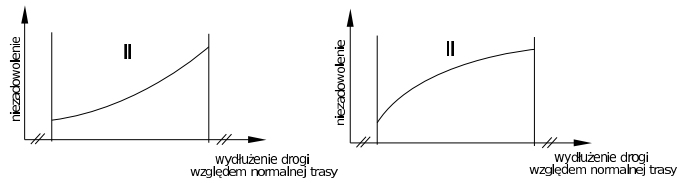


Rysunek C.1. Ankieta - strona 1

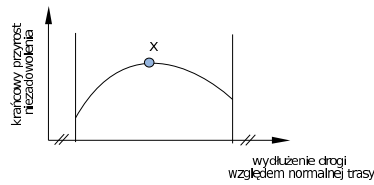
5. Przy średnim wydłużeniu trasy (w przedziale II - poprzednie pytanie):  
 a) niezadowolenie wzrasta nierównomiernie tworząc odcinki o mniejszym i większym nachyleniu wraz z występującym wzrostem i spadkiem (jak np. pokazane poniżej)



- b) niezadowolenie wzrasta w sposób przybliżenie równomierny (jak np. pokazane poniżej)



6. Rozpatrując kolejne przyrosty (wzrost w każdym kolejnym przyroście odległości) długości objazdu:  
 a) na trasie występować będzie punkt przyrostu kulminacyjnego X, po osiągnięciu którego powinno pojawiać się zubożnienie pasażera, gdy niezadowolenie osiągnie duże wartości



- b) nie ma podstaw do stwierdzenia, że istnieje punkt krytyczny X tolerancji wydłużenia trasy

Twoje uwagi do pytania 6:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

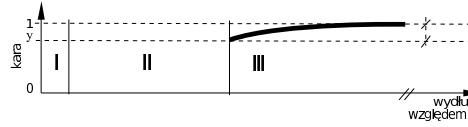
.....

.....

.....

Rysunek C.2. Ankieta - strona 2

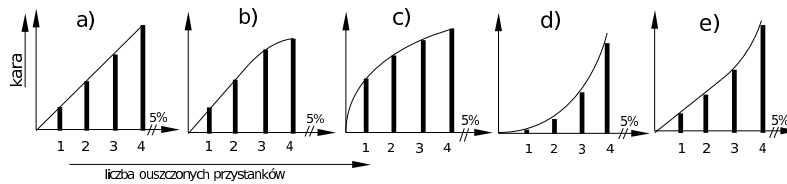
7. Przyjmijmy, kara przyjmuje wartości w przedziale  $<0,1>$  dla wydłużenia trasy  $<0,\infty>$ . Jaka część tego przedziału będzie przypadać na przedział III (pytanie 4)?  
 $y = \dots\dots\dots$ , gdzie  $y \in <0,1>$



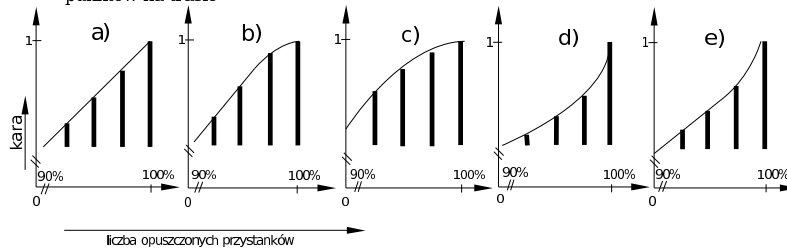
8. Niezadowolenie pasażera w odniesieniu do zwiększania długości trasy może zależeć od względnego wydłużenia trasy (liczonego procentowo, gdzie normalna trasa to 100%) lub bezwzględnego wydłużenia trasy (pasażer reaguje tak samo na kolejne 5 minut wydłużenia trasy, niezależnie od jej normalnej długości). Niezadowolenie to wzrasta:  
 a) proporcjonalnie do wydłużenia względnego  
 b) proporcjonalnie do wydłużenia bezwzględnego  
 c) proporcjonalnie do obu tych parametrów

Część B. Nieobsłużone punkty na trasie.

9. Oceniając konsekwencje nieobsłużenia kolejnych przystanków można stwierdzić, że (nie biorąc pod uwagę konkretnej linii, lecz odnosząc się do całej sieci):  
 a) największe znaczenie mają przystanki w środku trasy  
 b) największe znaczenie mają punkty przy krańcach trasy  
 c) wszystkie przystanki na trasie mają podobne znaczenie
10. Wybierz właściwy dla nieobsłużenia 5% przystanków przebieg konsekwencji funkcji kary

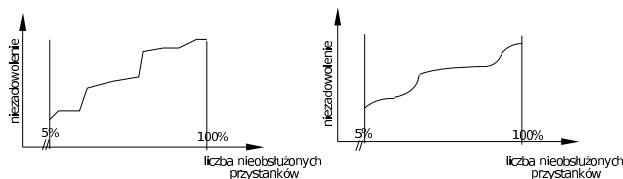


11. Wybierz właściwy przebieg konsekwencji i kary dla ponad 90% nieobsłużonych punktów na trasie

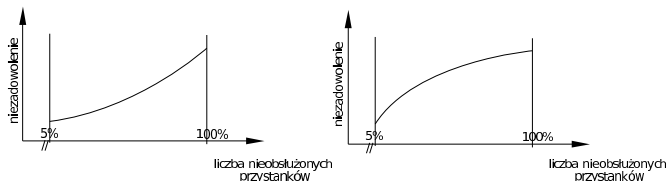


Rysunek C.3. Ankieta - strona 3

12. Przy średniej liczbie nieobsłużonych punktów (pomiędzy 5% a 100% całkowitej ich liczby)  
 a) niezadowolenie wzrasta skokowo tworząc obszary o mniejszym i większym nachyleniu

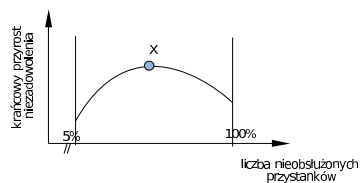


b) niezadowolenie wzrasta w sposób przybliżenie równomierny (jak np. pokazane poniżej)



13. Przy zwiększaniu nieobsłużonych przystanków w zakresie 5-100% całkowitej ich liczby oraz rozpatrując kolejne przyrosty niezadowolenia:

a) wystąpi punkt kulminacyjny tolerancji X przy dużej wartości niezadowolenia po osiągnięciu którego pojawi się zubożnienie



b) nie ma podstaw do stwierdzenia, że istnieje punkt krytyczny X akceptacji opuszczonych przystanków

Twoje uwagi do pytania 13:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## **D. Algorytmy i struktury danych**

Lista plików z danymi wprowadzanymi do systemu (L-01):

1. spis modułów:
  - a) plik agregujący:
    - siec\_odcinki.db (rys. D.13)
  - b) pliki danych:
    - odcinki0001.db (rys. D.14)
2. powiązania odcinków (następowanie po sobie):
  - a) plik agregujący:
    - siec\_powiazania.db (rys. D.3)
  - b) pliki danych:
    - powiazania0001.db (rys. D.1)
    - powiazania0002.db
3. długości modułów:
  - a) plik agregujący:
    - siec\_odleglosci.db (rys. D.4)
  - b) pliki danych:
    - odleglosci0001.db (rys. D.2)
4. liczba przystanków modułów:
  - a) plik agregujący:
    - siec\_przystanki.db (rys. D.7)
  - b) pliki danych:
    - przystanki0001.db (rys. D.15)
5. potencjał linii:
  - a) plik agregujący:
    - linie\_potencjal.db (rys. D.5)
  - b) pliki danych:
    - potencjal0001.db (rys. D.6)
6. trasy linii normalnych i zastępczych:
  - a) plik agregujący:
    - trasy\_siec.db (rys. D.8)
  - b) pliki danych:
    - 00\_linia\_def.db
    - 01\_linia\_def.db
    - 02\_linia\_def.db (rys. D.10)
    - 03\_linia\_def.db
    - 04\_linia\_def.db
    - 05\_linia\_def.db
    - 06\_linia\_def.db

- 07.linia\_def.db
  - 08.linia\_def.db
  - 09.linia\_def.db
  - 10.linia\_def.db
  - 11.linia\_def.db
  - 12.linia\_def.db
  - 13.linia\_def.db
  - 14.linia\_def.db
  - 15.linia\_def.db
  - 16.linia\_def.db
  - 17.linia\_def.db
  - 18.linia\_def.db
  - 19.linia\_def.db
  - 21.linia\_def.db
  - 22.linia\_def.db
  - 23.linia\_def.db
  - 24.linia\_def.db
  - 70.linia\_def.db (rys. D.11)
  - 71.linia\_def.db
  - 72.linia\_def.db
  - 73.linia\_def.db
  - 74.linia\_def.db
  - 75.linia\_def.db
  - 76.linia\_def.db
  - 77.linia\_def.db
  - 78.linia\_def.db
  - 79.linia\_def.db
7. trasy objazdów:
- a) plik agregujący:
    - trasy\_objazd.db (rys. D.9)
  - b) pliki danych:
    - 00A\_20051210.db
    - 00B\_20051210.db
    - 01A\_20051210.db
    - 01B\_20051210.db
    - 02A\_20051210.db
    - 02B\_20051210.db
    - 03A\_20051210.db

- 03B\_20051210.db
- 04A\_20051210.db
- 04B\_20051210.db
- 05A\_20051210.db
- 05B\_20051210.db
- 06A\_20051210.db
- 06B\_20051210.db
- 07A\_20051210.db (rys. D.12)
- 07B\_20051210.db
- 08A\_20051210.db
- 08B\_20051210.db
- 09A\_20051210.db
- 09B\_20051210.db
- 10A\_20051210.db
- 10B\_20051210.db
- 11A\_20051210.db
- 11B\_20051210.db
- 12A\_20051210.db
- 12B\_20051210.db
- 13A\_20051210.db
- 13B\_20051210.db
- 14A\_20051210.db
- 14B\_20051210.db
- 15A\_20051210.db
- 15B\_20051210.db
- 16A\_20051210.db
- 16B\_20051210.db
- 17A\_20051210.db
- 17B\_20051210.db
- 18A\_20051210.db
- 18B\_20051210.db
- 19A\_20051210.db
- 19B\_20051210.db
- 20A\_20051210.db
- 20B\_20051210.db
- 21A\_20051210.db
- 21B\_20051210.db
- 22A\_20051210.db



- 22B\_20051210.db
- 23A\_20051210.db
- 23B\_20051210.db
- 24A\_20051210.db
- 24B\_20051210.db

```
1.1: 11.2
1.2: 7.1
2.2: 3.3 ; 12.3
2.3: 9.2 ; 1.2
3.3: 4.4
3.4: 2.3 ; 12.3
4.4: 5.5 ; 15.5
4.5: 3.4
5.5: 51.6
5.6: 4.5 ; 15.5
...
...
```

Rysunek D.1. Fragment pliku: powiazania0001.db

```
1.1: 648
1.2: 648
2.2: 450
2.3: 450
3.3: 207
3.4: 207
4.4: 143
4.5: 143
5.5: 391
5.6: 391
...
...
```

Rysunek D.2. Fragment pliku: odleglosci0001.db

```
# Plik wskazujacy na zrodla z powiazaniami odcinkow sieci
# Kazda pozycja zaczyna sie od nowej linii!
# Format daty:
# # RRRR-MM-DD lub "future" lub "past"
# Format:
# <tag oznaczajacy poczatek wpisu> ; <data poczatku> ; <data konca> ; <plik>
# Nazwa pliku musi miec format powiazaniaXXXX.db gdzie XXXX jest dowolna liczba.
<def> ; past ; 2006-07-17 ; siec/powiazania0001.db
<def> ; 2006-07-18 ; future ; siec/powiazania0002.db
```

Rysunek D.3. Plik: siec\_powiazania.db

```
# Plik wskazujacy na zrodla z lista dlugosci odcinkow sieci
# Kazda pozycja zaczyna sie od nowej linii!
# Format daty:
# RRRR-MM-DD lub "past" lub "future"
# Format:
# <tag oznaczajacy poczatek wpisu> ; <data poczatku> ; <data konca> ; <plik>
# Nazwa pliku musi miec format odleglosciXXXX.db gdzie XXXX jest dowolna liczba.
<def> ; past ; future ; siec/odleglosci0001.db
```

Rysunek D.4. Plik: siec\_odleglosci.db

```
# Plik wskazujacy na zrodla z lista potencjalu poszczegolnych linii
# Kazda pozycja zaczyna sie od nowej linii!
# Format daty:
# RRRR-MM-DD lub "past" lub "future"
# Format:
# <tag oznaczajacy poczatek wpisu> ; <data poczatku> ; <data konca> ; <plik>
# Nazwa pliku musi miec format potencjalXXXX.db gdzie XXXX jest dowolna liczba.
<def> ; past ; future ; linie/potencjal0001.db
```

Rysunek D.5. Plik: linie\_potencjal.db

```
00A: 40142
00B: 40142
01A: 21750
01B: 21750
02A: 21376
02B: 21376
03A: 23864
03B: 23864
04A: 21228
04B: 21228
05A: 22364
05B: 22364
...
...
```

Rysunek D.6. Fragment pliku: potencjal0001.db

```
# Plik wskazujacy na zrodla z lista przystankow na poszczegolnych odcinkach
# Kazda pozycja zaczyna sie od nowej linii!
# Format daty:
# RRRR-MM-DD lub "past" lub "future"
# Format:
# <tag oznaczajacy poczatek wpisu> ; <data poczatku> ; <data konca> ; <plik>
# Nazwa pliku musi miec format przystankiXXXX.db gdzie XXXX jest dowolna liczba.

<def> ; past ; future ; siec/przystanki0001.db
```

Rysunek D.7. Plik: siec\_przystanki.db

```
# Tego pliku nie trzeba edytowac.  
# Plik definiuje gdzie znajdują się dane o trasach normalnych lini  
<00> ; 00_linia_def.db ;  
<01> ; 01_linia_def.db ;  
<02> ; 02_linia_def.db ;  
<03> ; 03_linia_def.db ;  
<04> ; 04_linia_def.db ;  
<05> ; 05_linia_def.db ;  
<06> ; 06_linia_def.db ;  
<07> ; 07_linia_def.db ;  
<08> ; 08_linia_def.db ;  
<09> ; 09_linia_def.db ;  
<10> ; 10_linia_def.db ;  
<11> ; 11_linia_def.db ;  
<12> ; 12_linia_def.db ;  
<13> ; 13_linia_def.db ;  
<14> ; 14_linia_def.db ;  
<15> ; 15_linia_def.db ;  
<16> ; 16_linia_def.db ;  
<17> ; 17_linia_def.db ;  
<18> ; 18_linia_def.db ;  
<19> ; 19_linia_def.db ;  
<20> ; 20_linia_def.db ;  
<21> ; 21_linia_def.db ;  
<22> ; 22_linia_def.db ;  
<23> ; 23_linia_def.db ;  
<24> ; 24_linia_def.db ;  
<70> ; 70_linia_def.db ;  
<71> ; 71_linia_def.db ;  
<72> ; 72_linia_def.db ;  
<73> ; 73_linia_def.db ;  
<74> ; 74_linia_def.db ;  
<75> ; 75_linia_def.db ;  
<76> ; 76_linia_def.db ;  
<77> ; 77_linia_def.db ;  
<78> ; 78_linia_def.db ;  
<79> ; 79_linia_def.db ;
```

Rysunek D.8. Plik: trasy\_siec.db

```
# Pola:
# - pole [1] - oznaczenie linni oraz kierunku A/B
# - pole [2] - poczatek okresu
# - pole [3] - koniec okresu
# - pole [4] - nazwa pliku danych o objazdach
# - pole [5] - objazd "0" / zawieszenie "Z" / zlikwidowanie "L" /
#           / trasa normalna "N" / linia zastepcza "K" /
#           / brak ruchu na w tym kierunku "B" / symulacja "S" /
#           / dane o niskiej wiarygodnosci "W"
# - pole [6] - opcjonalny komentarz
# FORMAT NAZWY PLIKU XXY_ZZZZZZZ.db
# XX - linia
# Y - kierunek linni [A/B]
# ZZZZZZZ - data od ktorej zaczynaja sie wpisy w pliku

# Plik ten odnosi sie tylko do wprowadzanych tras objazdow.
# NIE WPROWADZAC LINII PO KTORYCH RUCH ODBYWA SIE NORMALNIE!
# UWAGA: ">" "<" ";" ":" " " to znaki specjalne - uzywac tylko wg. wzoru
# UWAGA: pola danych separowane ";" - 6 znakow ";" w jednej linni
# UWAGA: flagi i komentarze tutaj wprowadzone sa w wiekszosci przypadkow
#         nadmiarowe i nie podlegaja przetwarzaniu, ale sa b wazne
#         w przypadkach nietypowych

[00] Linia 0, ->
<00A> ; 2005-12-10 ; 2006-12-31 ; 00A_20051210.db ; 0 ; OL, k.plstas-dwnad ;

[00] Linia 0, <-
<00B> ; 2005-12-10 ; 2006-12-31 ; 00B_20051210.db ; 0 ; OP, k.dwnad-plstas ;

[01] Linia 1, ->
<01A> ; 2005-12-10 ; 2006-12-31 ; 01A_20051210.db ; 0 ; k.marino-biskupin ;

[01] Linia 1, <-
<01B> ; 2005-12-10 ; 2006-12-31 ; 01B_20051210.db ; 0 ; k.biskupin-marino ;

[02] Linia 2, ->
<02A> ; 2005-12-10 ; 2006-12-31 ; 02A_20051210.db ; 0 ; k.krzyki-biskupin ;

[02] Linia 2, <-
<02B> ; 2005-12-10 ; 2006-12-31 ; 02B_20051210.db ; 0 ; k.biskupin-krzyki ;
...
...
```

Rysunek D.9. Fragment pliku: trasy\_objazd.db

```
001 # Plik danych tras tramwajow
002 # pole [1] - znacznik poczatku linii dla pliku XX_linia_def.db
003 # pole [2] - data rozpoczecia
004 # pole [3] - data zakonczenia
005 # pole [4] - trasa
006 # pole [5] - objazd "0" / zawieszenie "Z" / zlikwidowanie "L" /
007 #           / trasa normalna "N" / linia zastepcza "K" /
008 #           / brak ruchu na w tym kierunku "B" / symulacja "S" /
009 #           / dane o niskiej wiarygodnosci "W"
010 # pole [6] - [n.d.] numery linni zastepczych
011 # pole [7] - [n.d.] przyczyna objazdu
012 # pole [8] - komentarz
013 # Format daty: RRRR-MM-DD lub "today"
014 # Prosze nie uzywac polskich znakow gdyz moga wystapic problemy
015 # z kodowaniem.
016 # Prosze nie wpisywac okresow objazdow.
017 # Separatorem pol jest znak ";"
018 # # Separatorem pozycji w polu jest znak ","
019
020 <02A> ; 2005-12-10 ; today ; 315.515, 49.59, 48.58, 45.57, 32.32,
      34.33, 24.34, 25.10, 26.9, 27.27, 65.26, 67.25, 90.46, 94.47, 98.49,
      99.52, 100.53, 306.206 ; N ; ; ; krzyki -> biskupin ;
021
022 <02B> ; 2005-12-10 ; today ; 306.506, 100.206, 99.53, 98.52, 94.49,
      90.47, 67.46, 65.25, 27.26, 26.27, 25.9, 24.10, 34.34, 32.33, 45.32,
      48.57, 49.58, 315.59 ; N ; ; ; biskupin -> krzyki ;
```

Rysunek D.10. Plik zapisu linii normalnej: 02\_linia\_def.db

```
001 # Plik danych tras tramwajow
002 # pole [1] - znacznik poczatku linii dla pliku XX_linia_def.db
003 # pole [2] - data rozpoczecia
004 # pole [3] - data zakonczenia
005 # pole [4] - trasa
006 # pole [5] - objazd "0" / zawieszenie "Z" / zlikwidowanie "L" /
007 #           / trasa normalna "N" / linia zastepcza "K" /
008 #           / brak ruchu na w tym kierunku "B" / symulacja "S" /
009 #           / dane o niskiej wiarygodnosci "W"
010 # pole [6] - [n.d.] numery linni zastepczych
011 # pole [7] - [n.d.] przyczyna objazdu
012 # pole [8] - komentarz
013 # Format daty: RRRR-MM-DD lub "today"
014 # Prosze nie uzywac polskich znakow gdyz moga wystapic problemy
015 # z kodowaniem.
016 # Prosze nie wpisywac okresow objazdow.
017 # Separatorem pol jest znak ";"
018 # Separatorem pozycji w polu jest znak ","
019
020 <70A> ; 2006-03-12 ; 2006-06-23 ; 30.28, 31.29, 39.30, 38.31, 34.34, 32.33,
      33.32, 23.15, 22.16, 53.17, 57.18, 55.19, 70.20, 72.37, 74.38, 75.39, 78.40,
      79.42, 80.43, 81.70, 92.44, 95.48, 96.50, 97.51, 98.49, 99.52, 100.53,
      306.206 ; K ; ; ; pl wroblewskiego do biskupin ;
021 <70A> ; 2006-06-24 ; 2006-07-07 ; 30.28, 31.29, 39.30, 38.31, 34.34, 32.33,
      33.32, 23.15, 22.16, 53.17, 57.  18, 55.19, 70.20, 72.37, 74.38, 75.39,
      78.40, 79.42, 80.43, 82.70, 314.71 ; K ; ; ; pl wroblewskiego do kromera ;
<70A> ; 2006-07-08 ; 2006-07-14 ; 30.28, 31.29, 39.30, 38.31, 34.34, 32.33,
      33.32, 23.15, 22.16, 53.17, 57.18, 55.19, 70.20, 73.37, 86.67, 85.69, 84.68,
      77.41, 115.72, 75.39, 78.40, 79.42, 80.43, 82.70, 314.71 ; K ; ; ; pl
      wroblewskiego do kromera ;
022 <70A> ; 2006-07-15 ; 2006-07-17 ; 30.28, 31.29, 39.30, 38.31, 34.34, 32.33,
      33.32, 23.15, 22.16, 53.17, 57.18, 55.19, 54.20, 59.21, 61.22, 63.23, 80.43,
      82.70, 314.71 ; K ; ; ; pl wroblewskiego do kromera ;
023 <70A> ; 2006-07-18 ; 2006-10-20 ; 30.28, 31.29, 39.30, 38.31, 34.34, 32.33,
      33.32, 23.15, 22.16, 53.17, 57.18, 55.19, 54.20, 59.21, 61.22, 63.23, 79.43,
      78.42, 76.40, 84.41, 317.68 ; K ; ; ; pl wroblewskiego do zawalna ;
024 <70A> ; 2006-10-21 ; 2006-12-31 ; 30.28, 31.29, 39.30, 38.31, 34.34, 32.33,
      33.32, 23.15, 22.16, 53.17, 57.18, 55.19, 54.20, 59.21, 61.22, 63.23, 79.43,
      78.42, 76.40, 84.41, 85.68, 87.69, 303.203 ; K ; ; ; pl wroblewskiego do
      marino ;
...
...
```

Rysunek D.11. Fragment pliku, zapis linii zastepczej: 70\_linia\_def.db

```
001 # Plik danych tras tramwajow
002 # pole [1] - znacznik poczatku linii dla pliku 00A_XXXXXXXXX.db
003 # pole [2] - data rozpoczecia
004 # pole [3] - data zakonczenia
005 # pole [4] - trasa objazdu
006 # pole [5] - objazd "0" / zawieszenie "Z" / zlikwidowanie "L" /
007 #           / trasa normalna "N" / linia zastepcza "K" /
008 #           / brak ruchu na w tym kierunku "B" / symulacja "S" /
009 #           / dane o niskiej wiarygodnosci "W"
010 # pole [6] - numery linni zastepczych
011 # pole [7] - przyczyna objazdu P[YYY.ZZZ]/W[XX]
012 # pole [8] - komentarz
013 # Format daty: RRRR-MM-DD
014 # Prosze nie uzywac polskich znakow gdzyz moga wystapic problemy
015 # z kodowaniem.
016 # Jesli wystapi przerwa pomiedzy wprowadzonymi okresami czas ten bedzie
017 # interpretowany jako poprawny czas pracy linii.
018 # Prosze nie wpisywac okresow poprawnej pracy linni.
019 # W[YYY.ZZZ.YYY.] - wezel [odcinek.wezel.odcinek]
020 # P[YYY.ZZZ] - odcinek YYY.ZZZ [odcinek.wezel_startowy]
021
022 # kierunek: krzyki -> marino
023
024 <07A> ; 2005-12-10 ; 2006-03-31 ; 315.515, 49.59, 48.58, 45.57, 21.32,
      18.12, 17.13, 22.16, 53.17, 57.18, 55.19, 54.20, 59.21, 71.22, 75.39,
      76.40, 84.41, 85.68, 87.69, 303.203 ; 0 ; ; ;
025
026 <07A> ; 2006-04-01 ; 2006-07-07 ; 315.515, 49.59, 48.58, 45.57, 21.32,
      18.12, 17.13, 22.16, 53.17, 57.18, 55.19, 54.20, 59.21, 71.22, 75.39,
      76.40, 84.41, 317.68 ; 0 ; ; ;
027
028 <07A> ; 2006-07-08 ; 2006-07-14 ; 315.515, 49.59, 48.58, 45.57, 21.32,
      18.12, 17.13, 22.16, 53.17, 57.18, 55.19, 54.20, 59.21, 61.22, 63.23,
      79.43, 78.42, 76.40, 84.41, 317.68 ; 0 ; ; ;
029
030 <07A> ; 2006-07-15 ; 2006-07-17 ; 315.515, 49.59, 48.58, 47.57, 46.62,
      44.61, 19.15, 17.13, 22.16, 53.17, 57.18, 55.19, 54.20, 59.21, 61.22,
      63.23, 79.43, 402.42 ; 0 ; ; ;
031
032 <07A> ; 2006-07-18 ; 2006-08-09 ; 315.515, 49.59, 48.58, 47.57, 46.62,
      44.61, 19.15, 17.13, 22.16, 53.17, 57.18, 55.19, 54.20, 59.21, 61.22,
      63.23, 79.43, 78.42, 76.40, 84.41, 317.68 ; 0 ; ; ;
...
...
```

Rysunek D.12. Fragment pliku zapisu objazdów: 07A\_20051210.db



```
# Plik wskazujacy na zrodla z lista odcinkow sieci
# Format:
# <tag oznaczajacy poczatek wpisu> ; <data poczatku> ; <data konca> ; <plik>
# Kazda pozycja zaczyna sie od nowej linii!
# Format daty:
# RRRR-MM-DD lub "past" lub "future"
# Nazwa pliku musi miec format odcinkiXXXX.db gdzie XXXX jest dowolna liczba.

<def> ; past ; future ; siec/odcinki0001.db
```

Rysunek D.13. Plik: siec.odcinki.db

```
1.1:
1.2:
2.2:
2.3:
3.3:
3.4:
4.4:
4.5:
5.5:
5.6:
...
...
```

Rysunek D.14. Fragment pliku odcinki0001.db

```
1.1: 0
1.2: 2
2.2: 1
2.3: 1
3.3: 0
3.4: 1
4.4: 1
4.5: 0
5.5: 0
5.6: 0
...
...
```

Rysunek D.15. Fragment pliku: przystanki0001.db

Lista linii normalnych (planowych) we wrocławskiej sieci tramwajowej (L-02) w badanym okresie (2005.12.10 - 2006.12.31):

**00** (a): 72.38, 70.37, 55.20, 57.19, 53.18, 22.17, 23.16, 33.15, 32.32, 34.33, 38.34, 39.31, 31.30, 30.29, 29.28, 68.26, 89.46, 69.45, 81.44, 80.70, 79.43, 78.42, 76.40, 77.41, 114.72

(kierunek: *pl. Staszica* → *Dw. Nadodrze*)

**00** (b): 74.38, 75.39, 78.40, 79.42, 80.43, 81.70, 69.44, 89.45, 68.46, 29.26, 30.28, 31.29, 39.30, 38.31, 34.34, 32.33, 33.32, 23.15, 22.16, 53.17, 57.18, 55.19, 70.20, 72.37

(kierunek: *Dw. Nadodrze* → *pl. Staszica*)

**01** (a): 303.503, 87.203, 85.69, 84.68, 77.41, 115.72, 75.39, 78.40, 79.42, 80.43, 81.70, 69.44, 91.45, 94.47, 98.49, 99.52, 100.53, 306.206

(kierunek: *Marino* → *Biskupin*)

**01** (b): 306.506, 100.206, 99.53, 98.52, 94.49, 91.47, 69.45, 81.44, 80.70, 79.43, 78.42, 76.40, 84.41, 85.68, 87.69, 303.203

(kierunek: *Biskupin* → *Marino*)

**02** (a): 315.515, 49.59, 48.58, 45.57, 32.32, 34.33, 24.34, 25.10, 26.9, 27.27, 65.26, 67.25, 90.46, 94.47, 98.49, 99.52, 100.53, 306.206

(kierunek: *Krzyki* → *Biskupin*)

**02** (b): 306.506, 100.206, 99.53, 98.52, 94.49, 90.47, 67.46, 65.25, 27.26, 26.27, 25.9, 24.10, 34.34, 32.33, 45.32, 48.57, 49.58, 315.59

(kierunek: *Biskupin* → *Krzyki*)

**03** (a): 307.507, 105.207, 104.55, 102.54, 30.29, 28.28, 26.27, 9.9, 2.2, 3.3, 4.4, 15.5, 16.14, 106.17, 108.64, 109.65, 318.66

(kierunek: *Księżę Małe* → *Pilczyce*)

**03** (b): 318.518, 109.66, 108.65, 106.64, 16.17, 14.14, 3.4, 2.3, 9.2, 26.9, 28.27, 30.28, 102.29, 104.54, 105.55, 307.207

(kierunek: *Pilczyce* → *Księżę Małe*)

**04** (a): 311.511, 112.211, 111.63, 44.61, 19.15, 12.13, 2.3, 9.2, 26.9, 27.27, 68.26, 90.46, 94.47, 98.49, 99.52, 100.53, 306.206

(kierunek: *Oporów* → *Biskupin*)

**04** (b): 306.506, 100.206, 99.53, 98.52, 94.49, 90.47, 68.46, 27.26, 26.27, 9.9, 2.2, 12.3, 19.13, 44.15, 111.61, 112.63, 311.211

(kierunek: *Biskupin* → *Oporów*)

**05** (a): 307.507, 105.207, 104.55, 102.54, 30.29, 28.28, 26.27, 25.9, 24.10, 34.34, 32.33, 33.32, 44.15, 111.61, 319.63

(kierunek: *Księżę Małe* → *Cm. Grabiszyński*)

**05** (b): 319.519, 111.63, 44.61, 33.15, 32.32, 34.33, 24.34, 25.10, 26.9, 28.27, 30.28, 102.29, 104.54, 105.55, 307.207

(kierunek: *Cm. Grabiszyński* → *Księżę Małe*)

- 06 (a):** 315.515, 49.59, 48.58, 45.57, 21.32, 13.12, 11.11, 1.2, 7.1, 52.7, 59.21, 61.22, 63.23, 80.43, 82.70, 314.71  
(kierunek: *Krzyki* → *Kromera*)
- 06 (b):** 314.514, 82.71, 80.70, 63.43, 61.23, 59.22, 52.21, 6.7, 5.6, 4.5, 3.4, 12.3, 18.13, 21.12, 45.32, 48.57, 49.58, 315.59  
(kierunek: *Kromera* → *Krzyki*)
- 07 (a):** 315.515, 49.59, 48.58, 45.57, 21.32, 13.12, 11.11, 1.2, 7.1, 52.7, 59.21, 71.22, 75.39, 76.40, 84.41, 85.68, 87.69, 303.203  
(kierunek: *Krzyki* → *Marino*)
- 07 (b):** 303.503, 87.203, 85.69, 84.68, 77.41, 115.72, 71.39, 59.22, 52.21, 6.7, 5.6, 4.5, 3.4, 12.3, 18.13, 21.12, 45.32, 48.57, 49.58, 315.59  
(kierunek: *Marino* → *Krzyki*)
- 08 (a):** 308.508, 42.208, 37.36, 35.35, 24.34, 25.10, 10.9, 60.8, 62.23, 66.24, 92.44, 95.48, 313.50  
(kierunek: *Tarnogaj* → *Stadion Olimpijski*)
- 08 (b):** 313.513, 95.50, 92.48, 66.44, 62.24, 60.23, 10.8, 25.9, 24.10, 35.34, 37.35, 42.36, 308.208  
(kierunek: *Stadion Olimpijski* → *Tarnogaj*)
- 09 (a):** 309.509, 43.209, 41.56, 37.36, 35.35, 24.34, 25.10, 10.9, 60.8, 62.23, 66.24, 92.44, 95.48, 96.50, 101.51, 305.205  
(kierunek: *Park Południowy* → *Sępolno*)
- 09 (b):** 305.505, 101.205, 96.51, 95.50, 92.48, 66.44, 62.24, 60.23, 10.8, 25.9, 24.10, 35.34, 37.35, 41.36, 43.56, 309.209  
(kierunek: *Sępolno* → *Park Południowy*)
- 10 (a):** 301.501, 110.201, 109.66, 108.65, 106.64, 16.17, 14.14, 3.4, 2.3, 9.2, 26.9, 27.27, 65.26, 67.25, 90.46, 94.47, 98.49, 99.52, 100.53, 306.206  
(kierunek: *Leśnica* → *Biskupin*)
- 10 (b):** 306.506, 100.206, 99.53, 98.52, 94.49, 90.47, 67.46, 65.25, 27.26, 26.27, 9.9, 2.2, 3.3, 4.4, 15.5, 16.14, 106.17, 108.64, 109.65, 110.66, 301.201  
(kierunek: *Biskupin* → *Leśnica*)
- 11 (a):** 311.511, 112.211, 111.63, 44.61, 33.15, 32.32, 34.33, 24.34, 25.10, 10.9, 60.8, 63.23, 80.43, 82.70, 83.71, 304.204  
(kierunek: *Oporów* → *Kowale*)
- 11 (b):** 304.504, 83.204, 82.71, 80.70, 63.43, 60.23, 10.8, 25.9, 24.10, 34.34, 32.33, 33.32, 44.15, 111.61, 112.63, 311.211  
(kierunek: *Kowale* → *Oporów*)
- 12 (a):** 305.505, 101.205, 96.51, 95.50, 93.48, 89.45, 68.46, 27.26, 26.27, 9.9, 2.2, 3.3, 4.4, 15.5, 16.14, 106.17, 107.64, 312.212  
(kierunek: *Sępolno* → *Robotnicza*)
- 12 (b):** 312.512, 107.212, 106.64, 16.17, 14.14, 3.4, 2.3, 9.2, 26.9, 27.27, 68.26, 89.46, 93.45, 95.48,

96.50, 101.51, 305.205

(kierunek: Robotnicza → Sępólno)

14 (a): 302.502, 88.202, 73.67, 70.37, 51.20, 5.6, 4.5, 3.4, 12.3, 18.13, 21.12, 45.32, 47.57, 46.62, 44.61, 23.15, 22.16, 53.17, 57.18, 55.19, 70.20, 73.37, 88.67, 302.202

(kierunek: Osobowice → Podwale → 1 Maja → Osobowice)

15 (a): 308.508, 42.208, 37.36, 36.35, 32.33, 33.32, 23.15, 22.16, 53.17, 57.18, 55.19, 70.20, 73.37, 86.67, 87.69, 303.203

(kierunek: Tarnogaj → Marino)

15 (b): 303.503, 87.203, 86.69, 73.67, 70.37, 55.20, 57.19, 53.18, 22.17, 23.16, 33.15, 32.32, 36.33, 37.35, 42.36, 308.208

(kierunek: Marino → Tarnogaj)

16 (a): 309.509, 43.209, 41.56, 37.36, 35.35, 38.34, 39.31, 31.30, 30.29, 29.28, 68.26, 90.46, 94.47, 98.49, 316.52

(kierunek: Park Południowy → ZOO)

16 (b): 316.516, 98.52, 94.49, 90.47, 68.46, 29.26, 30.28, 31.29, 39.30, 38.31, 35.34, 37.35, 41.36, 43.56, 309.209

(kierunek: ZOO → Park Południowy)

17 (a): 310.510, 113.210, 50.60, 49.59, 48.58, 45.57, 32.32, 34.33, 24.34, 25.10, 10.9, 60.8, 62.23, 66.24, 92.44, 95.48, 96.50, 101.51, 305.205

(kierunek: Klecina → Sępólno)

17 (b): 305.505, 101.205, 96.51, 95.50, 92.48, 66.44, 62.24, 60.23, 10.8, 25.9, 24.10, 34.34, 32.33, 45.32, 48.57, 49.58, 50.59, 113.60, 310.210

(kierunek: Sępólno → Klecina)

20 (a): 311.511, 112.211, 111.63, 46.61, 47.62, 45.57, 21.32, 18.12, 12.13, 3.3, 4.4, 15.5, 16.14, 106.17, 107.64, 312.212

(kierunek: Oporów → Robotnicza)

20 (b): 312.512, 107.212, 106.64, 16.17, 14.14, 3.4, 12.3, 18.13, 21.12, 45.32, 47.57, 46.62, 111.61, 112.63, 311.211

(kierunek: Robotnicza → Oporów)

21 (a): 303.503, 87.203, 85.69, 84.68, 77.41, 115.72, 71.39, 59.22, 52.21, 6.7, 5.6, 15.5, 16.14, 106.17, 108.64, 109.65, 318.66

(kierunek: Marino → Pilczyce)

21 (b): 318.518, 109.66, 108.65, 106.64, 16.17, 14.14, 3.4, 2.3, 1.2, 7.1, 52.7, 59.21, 71.22, 75.39, 76.40, 84.41, 85.68, 87.69, 303.203

(kierunek: Pilczyce → Marino)

22 (a): 308.508, 42.208, 37.36, 36.35, 32.33, 33.32, 19.15, 12.13, 3.3, 4.4, 15.5, 16.14, 106.17, 108.64, 109.65, 110.66, 301.201

(kierunek: Tarnogaj → Leśnica)

**22 (b):** 301.501, 110.201, 109.66, 108.65, 106.64, 16.17, 14.14, 3.4, 12.3, 19.13, 33.15, 32.32, 36.33, 37.35, 42.36, 308.208

*(kierunek: Leśnica → Tarnogaj)*

**23 (a):** 304.504, 83.204, 82.71, 80.70, 63.43, 60.23, 10.8, 9.9, 2.2, 3.3, 4.4, 15.5, 16.14, 106.17, 108.64, 109.65, 318.66

*(kierunek: Kowale → Pilczyce)*

**23 (b):** 318.518, 109.66, 108.65, 106.64, 16.17, 14.14, 3.4, 2.3, 9.2, 10.9, 60.8, 63.23, 80.43, 82.70, 83.71, 304.204

*(kierunek: Pilczyce → Kowale)*

**24 (a):** 302.502, 88.202, 73.67, 70.37, 55.20, 57.19, 53.18, 22.17, 23.16, 44.15, 46.61, 47.62, 45.57, 21.32, 18.12, 12.13, 3.3, 4.4, 5.5, 51.6, 70.20, 73.37, 88.67, 302.202

*(kierunek: Osobowice → 1 Maja → Podwale → Osobowice)*

Lista (L-03) informacji konfiguracyjnych potrzebnych do przygotowania danych do przetwarzania:

1. okresy danych w których dane uznane zostały za kompletne,

Duża złożoność danych oraz pracochłonność ich pozyskania są przyczyną tego, że ich wprowadzenie następuje etapami. W czasie tym dane z pewnych okresów są niekompletne i mogą też być mało wiarygodne, zaś że ich wprowadzenie do systemu jest nieporządane.

2. początki i końce tras,

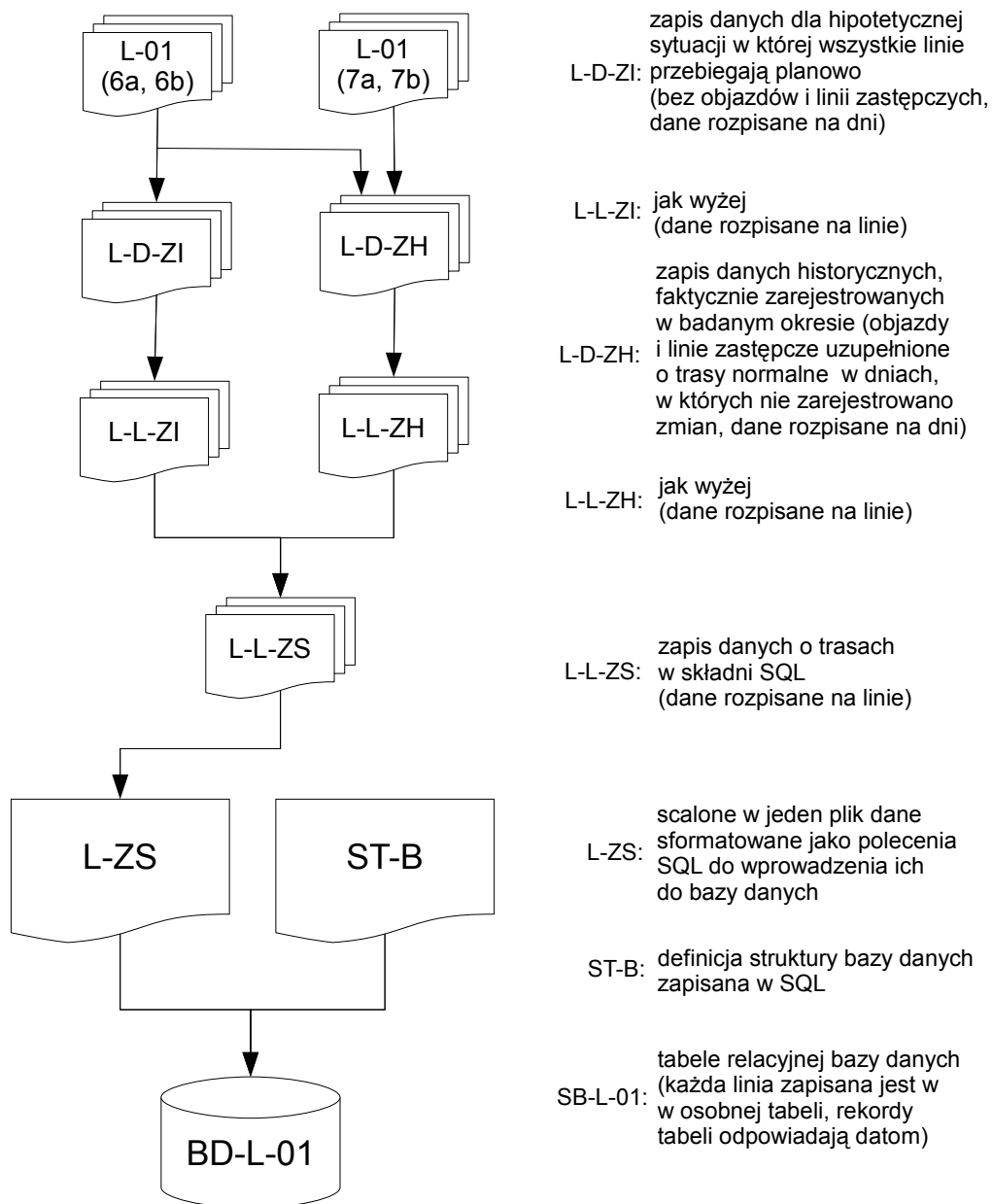
Dla wygenerowania wszystkich możliwych tras danej linii konieczne jest określenie ich końców. Listy początków i końców tras wykorzystywane są przez bardzo pracochłonne algorytmy wyznaczania alternatywnych tras linii, których czas wykonania, dla dużych sieci, liczono w dniach. Dane te można pozyskać z tablic tras linii normalnych, lecz ich wyróżnienie i manualne wprowadzenia daje większą kontrolę nad nimi. Dane te przygotowuje się osobno dla każdego okresu pomiędzy zmianami topologii sieci.

3. odcinki krańcowe linii,

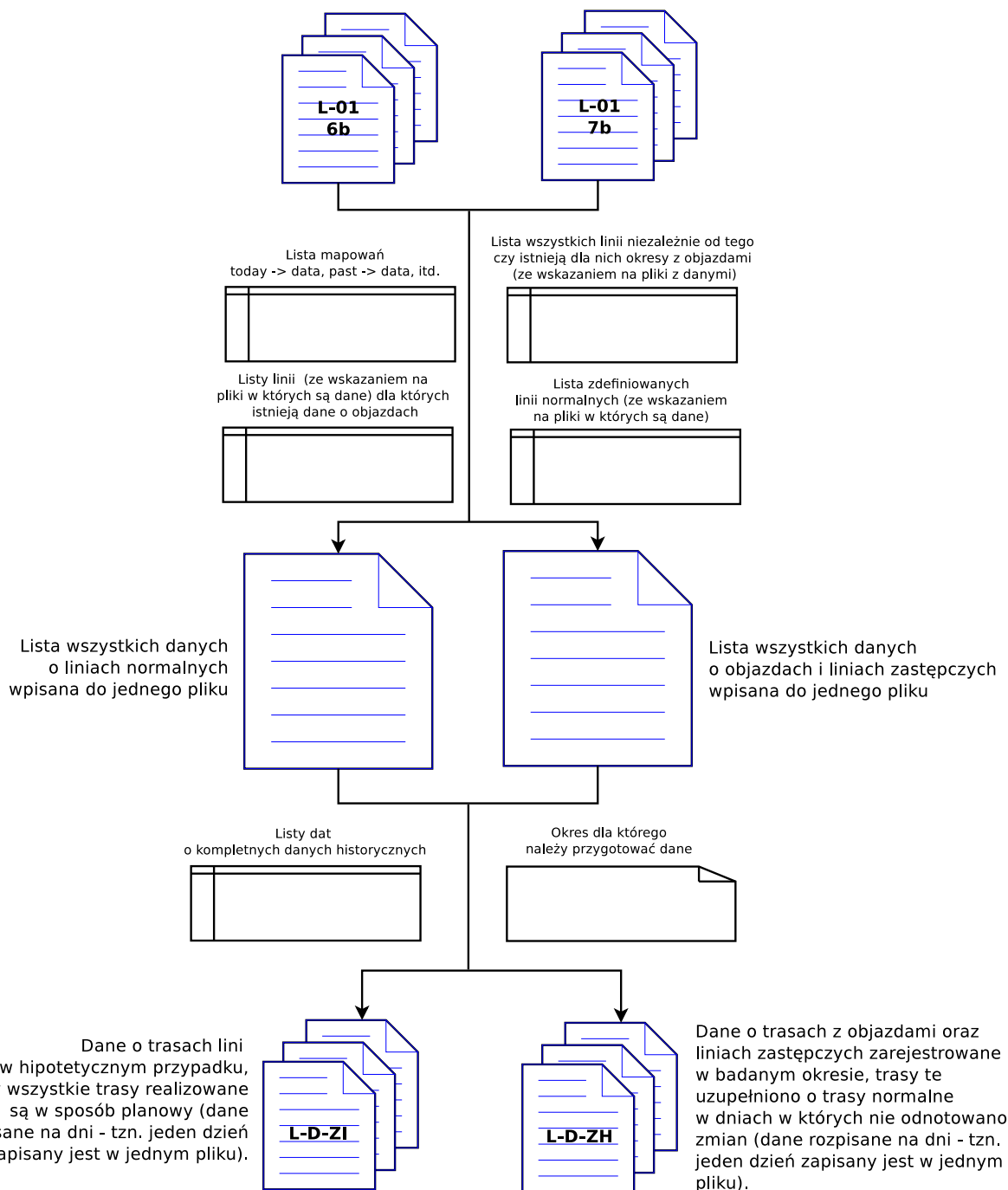
Dane te uzupełniają informacje o początkach i końcach tras opisanych w poprzednim punkcie. Ich zastosowanie wynika z tych samych powodów i służy tym samym celom.

4. daty krańcowe analiz.

Okres dla którego dopuszcza się prowadzenie analiz. Potrzebny m.in. dla mapowania oznaczeń czasu takich jak „past” i „future”. Daty te przyjmowane są jako maksymalnie odległe w czasie np. w niektórych algorytmach, które potrzebują określenia dat krańcowych. W pracy przyjęto 1878-07-10 i 2049-12-31.

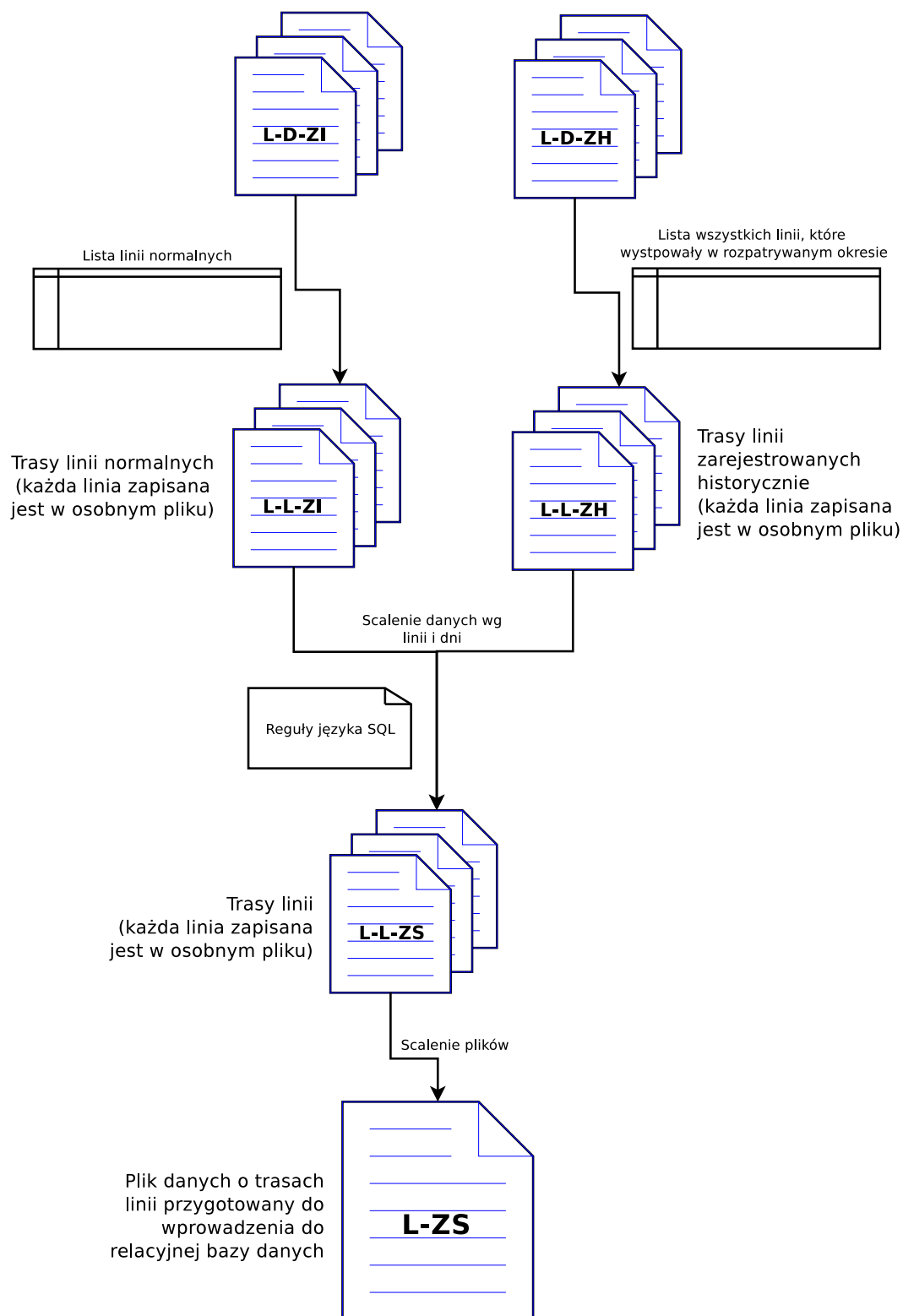


Rysunek D.16. Dane opisujące linie sieci występujące w kolejnych etapach ich przygotowania do wprowadzenia do systemu (dane początkowe [L-01] oznaczają listę L-01 ze strony 209 oraz pozycję tej listy).



Rysunek D.17. Segregacja danych o trasach linii wg dat. (dane początkowe [L-01] oznaczają listę L-01 ze strony 209 oraz pozycję tej listy).





Rysunek D.18. Przygotowanie danych o trasach linii do importu do relacyjnej bazy danych.

Lista (L-04) tabel relacyjnej bazy danych zawierających dane o trasach linii (BD-L-01) wprowadzanych do systemu:

- linia\_00a,
- linia\_00b,
- linia\_01a,
- linia\_01b,
- linia\_02a,
- linia\_02b,
- linia\_03a,
- linia\_03b,
- linia\_04a,
- linia\_04b,
- linia\_05a,
- linia\_05b,
- linia\_06a,
- linia\_06b,
- linia\_07a,
- linia\_07b,
- linia\_08a,
- linia\_08b,
- linia\_09a,
- linia\_09b,
- linia\_10a,
- linia\_10b,
- linia\_11a,
- linia\_11b,
- linia\_12a,
- linia\_12b,
- linia\_13a,
- linia\_13b,
- linia\_14a,
- linia\_14b,
- linia\_15a,
- linia\_15b,
- linia\_16a,
- linia\_16b,
- linia\_17a,
- linia\_17b,

- 
- linia\_18a,
  - linia\_18b,
  - linia\_19a,
  - linia\_19b,
  - linia\_20a,
  - linia\_20b,
  - linia\_21a,
  - linia\_21b,
  - linia\_22a,
  - linia\_22b,
  - linia\_23a,
  - linia\_23b,
  - linia\_24a,
  - linia\_24b,
  - linia\_70a,
  - linia\_70b,
  - linia\_71a,
  - linia\_71b,
  - linia\_72a,
  - linia\_72b,
  - linia\_73a,
  - linia\_73b,
  - linia\_74a,
  - linia\_74b,
  - linia\_75a,
  - linia\_75b,
  - linia\_76a,
  - linia\_76b,
  - linia\_77a,
  - linia\_77b,
  - linia\_78a,
  - linia\_78b,
  - linia\_79a,
  - linia\_79b,

Struktura tabel (L-04: linia\_XXx) zawierających dane o trasach linii (BD-L-01) [L-05]<sup>1</sup>:

- data\_wp DATE,
- o\_linii VARCHAR(5),
- trasa\_o TEXT,
- trasa\_n TEXT,
- flaga\_o VARCHAR(5),
- flaga\_n VARCHAR(5),
- li\_zast VARCHAR(20),
- powod\_o TEXT,
- komenta TEXT,
- odcinki VARCHAR(33),
- powiaza VARCHAR(33),
- odleglo VARCHAR(33),
- przysta VARCHAR(33),
- tr\_wyla TEXT,
- tr\_obja TEXT,
- tr\_wyrs TEXT,
- tr\_obrs TEXT,
- dl\_tr\_n INTEGER,
- dl\_tr\_o INTEGER,
- dl\_wyla INTEGER,
- dl\_obja INTEGER,
- dl\_cz\_w VARCHAR(40),
- dl\_cz\_o VARCHAR(40),
- przys\_n SMALLINT,
- przys\_o SMALLINT,
- prz\_wyl SMALLINT,
- prz\_obj SMALLINT,
- pr\_cz\_w VARCHAR(40),
- pr\_cz\_o VARCHAR(40),
- potprze INTEGER.

o znaczeniu poszczególnych pozycji:

[data\_wp] data której dotyczy dany wpis,

[o\_linii] oznaczenie linii,

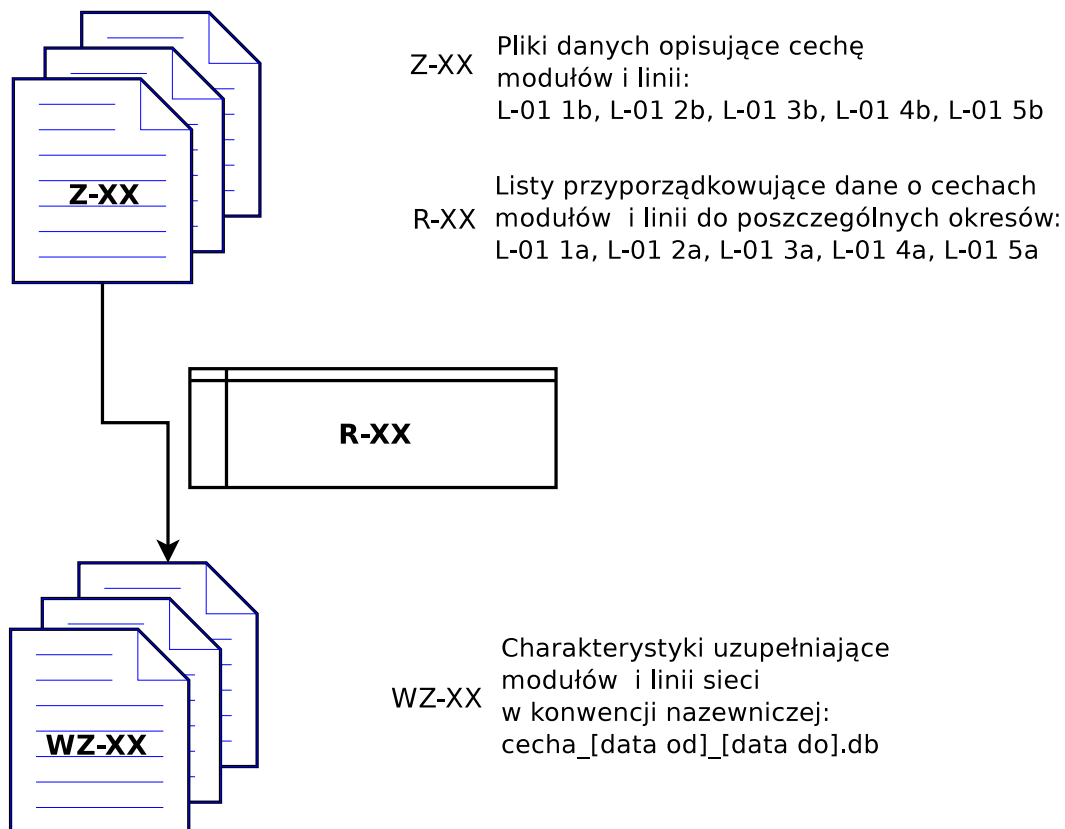
[trasa\_o] trasa całej linii z objazdem,

[trasa\_n] trasa całej linii planowej,

---

<sup>1</sup> Nie są wypełniane wszystkie kolumny tabel w trakcie importu danych do bazy danych. Część z pozycji jest uzupełniana później w wyniku przetworzenia wprowadzonych informacji

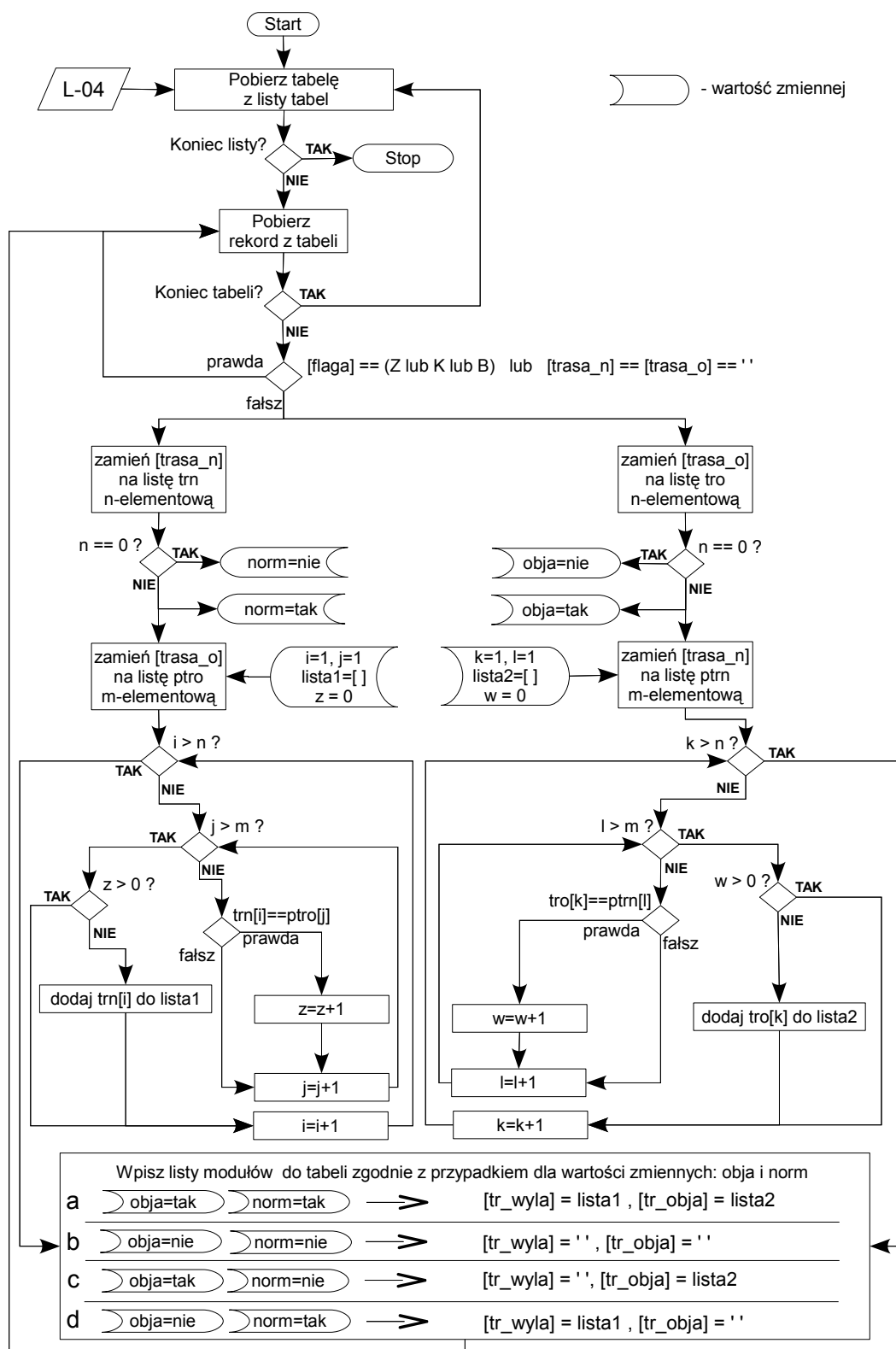
- [flaga\_o] oznaczenie: objazd "O" / zawieszenie "Z" / zlikwidowanie "L" / trasa normalna "N" / linia zastepcza "K" / brak ruchu na w tym kierunku "B" / symulacja "S" / dane o niskiej wiarygodnosci "W" dla trasy z objazdem,
- [flaga\_n] oznaczenie: objazd "O" / zawieszenie "Z" / zlikwidowanie "L" / trasa normalna "N" / linia zastepcza "K" / brak ruchu na w tym kierunku "B" / symulacja "S" / dane o niskiej wiarygodnosci "W" dla trasy planowej,
- [li\_zast] numer linii zastepczych,
- [powod\_o] powód objazdu (oznaczenie węzła lub odcinka będącego powodem zmiany trasy),
- [komenta] komentarz,
- [odcinki] nazwa pliku z listą modułów sieci aktualną dla danego dnia,
- [powiaza] nazwa pliku z możliwymi przejściami pomiędzy modułami sieci w danym dniu,
- [odleglo] nazwa pliku z długościami modułów sieci aktualnymi w danym dniu,
- [przysta] nazwa pliku z liczbą przystanków każdego z modułów sieci w danym dniu,
- [tr\_wyla] wyłączona część trasy,
- [tr\_obja] trasa objazdu,
- [tr\_wyrs] przypadek rozłączenia linii - trasa objazdu z podziałem na rozłączone części linii,
- [tr\_obrs] przypadek rozłączenia linii - trasa wyłączona w podziałem na rozłączone części linii,
- [dl\_tr\_n] długość trasy normalnej linii,
- [dl\_tr\_o] długość trasy linii z objazdem,
- [dl\_wyla] długość odcinków wyłączonych linii (suma),
- [dl\_obja] długość odcinków objazdu na linii (suma),
- [dl\_cz\_w] długość odcinków wyłączenia z podziałem na części trasy odpowiadające zapisowi w [tr\_wyrs],
- [dl\_cz\_o] długość odcinków objazdu z podziałem na części trasy odpowiadające zapisowi w [tr\_obrs],
- [przys\_n] liczba przystanków linii normalnej,
- [przys\_o] liczba przystanków linii z objazdem,
- [prz\_wyl] liczba przystanków na odcinkach wyłączonych linii (suma),
- [prz\_obj] liczba przystanków na odcinkach będących objazdem (suma),
- [pr\_cz\_w] liczba przystanków na odcinkach wyłączonych w przypadku rozłączenia linii na poszczególnych jej częściach zapisanych w [tr\_wyrs],
- [pr\_cz\_o] liczba przystanków na odcinkach objazdów w przypadku rozłączenia linii na poszczególnych jej częściach zgodnie z zapisem w [tr\_obrs],
- [potprze] potencjał linii.



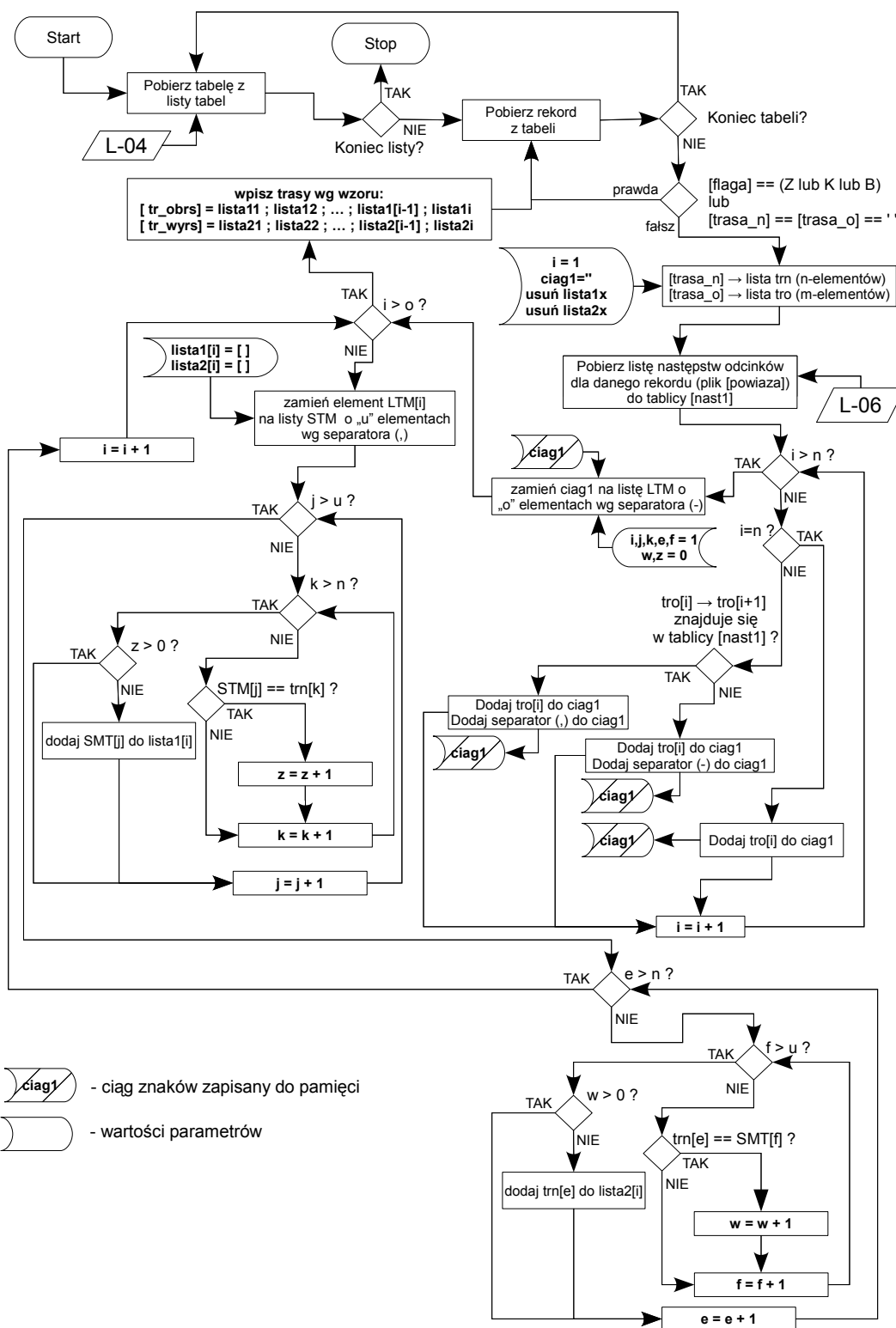
Rysunek D.19. Przygotowanie danych o charakterystykach uzupełniających modułów i linii do wprowadzenia do systemu ([L-01] oznacza listę na stronie 209). Po przygotowaniu dane importowane są do słowników stałych z nazwą plików zgodną z konwencją przyjętą dla WZ-XX.

Lista (L-06) plików ze słownikami trwałymi zawierającymi dane uzupełniające modułów i linii (dla rozpatrywanego w pracy okresu):

- odcinki\_1878-07-10\_2049-12-31\_db
- odleglo\_1878-07-10\_2049-12-31\_db
- potencj\_1878-07-10\_2049-12-31\_db
- powiaza\_1878-07-10\_2006-07-17\_db
- powiaza\_2006-07-18\_2049-12-31\_db
- przysta\_1878-07-10\_2049-12-31\_db



Rysunek D.20. Wyznaczenie modułów należących do odcinków wyłączonych i objazdów tras (L-04 oznacza listę tabel ze str. 229). Nie wszystkie przypadki w wyróżnionych (a, b, c, d) wystąpią kiedykolwiek. Ich zachowanie gwarantuje czytelność zapisu i obsługę pewnej ilości wyjątków wynikających z błędnie wprowadzonych danych (np. pojawienie się przypadku b wykluczone jest we wcześniejszej części algorytmu).



Rysunek D.21. Wyznaczanie modułów wyłączonych i tras objazdów na liniach rozłączonych (L-04 oznacza listę tabel ze str. 229, L-06 oznacza listę na stronie 233).



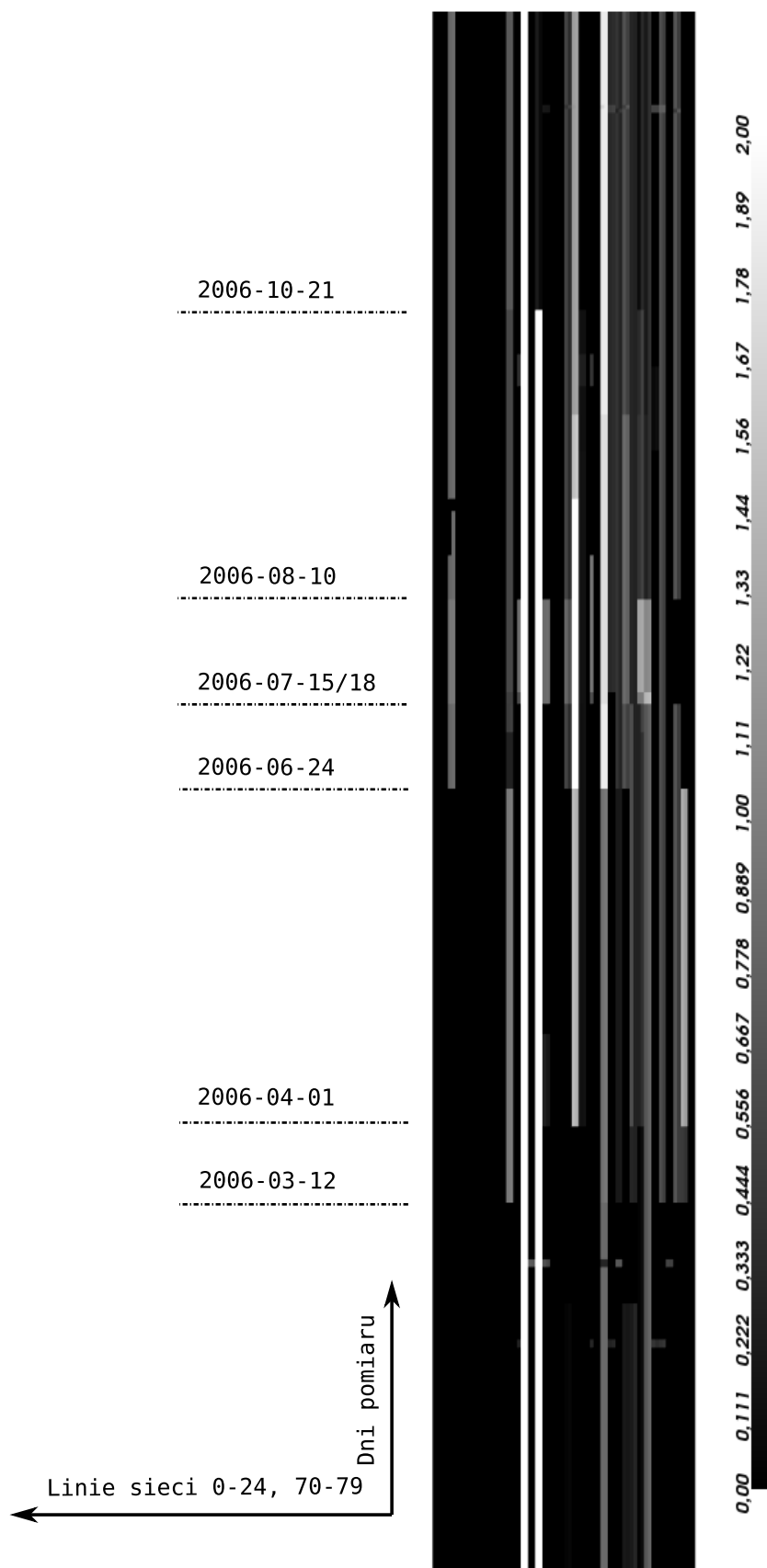
## **E. Zestawienia danych**

Tabela E.1: Wyniki obliczeń: efektywność globalna  $E_c$ 

Lp.	Data	$E_c$
1	2005-12-10	0.86101
...	...	...
56	2006-02-03	0.86101
57	2006-02-04	0.82808
58	2006-02-05	0.82808
59	2006-02-06	0.86101
...	...	...
67	2006-02-14	0.86101
68	2006-02-15	0.87096
...	...	...
76	2006-02-23	0.87096
77	2006-02-24	0.80206
78	2006-02-25	0.80206
79	2006-02-26	0.87096
...	...	...
92	2006-03-11	0.87096
93	2006-03-12	0.78289
...	...	...
111	2006-03-31	0.78289
112	2006-04-01	0.74111
...	...	...
134	2006-04-23	0.74111
135	2006-04-24	0.74417
...	...	...
195	2006-06-23	0.74417
196	2006-06-24	0.72813
...	...	...
209	2006-07-07	0.72813
210	2006-07-08	0.71840
...	...	...
216	2006-07-14	0.71840
217	2006-07-15	0.64456
218	2006-07-16	0.64456
219	2006-07-17	0.64456
220	2006-07-18	0.62385
...	...	...
242	2006-08-09	0.62385
243	2006-08-10	0.70182
...	...	...
253	2006-08-20	0.70182
Kontynuacja na następnej stronie		

---

Lp.	Data	$E_c$
254	2006-08-21	0.71250
...	...	...
264	2006-08-31	0.71250
265	2006-09-01	0.71527
266	2006-09-02	0.71527
267	2006-09-03	0.71527
268	2006-09-04	0.71486
...	...	...
279	2006-09-15	0.71486
280	2006-09-16	0.71307
...	...	...
288	2006-09-24	0.71307
289	2006-09-25	0.72025
...	...	...
295	2006-10-01	0.72025
296	2006-10-02	0.70690
...	...	...
300	2006-10-06	0.70690
301	2006-10-07	0.70906
302	2006-10-08	0.70906
303	2006-10-09	0.70906
304	2006-10-10	0.72242
...	...	...
314	2006-10-20	0.72242
315	2006-10-21	0.75183
...	...	...
363	2006-12-08	0.75183
364	2006-12-09	0.73147
365	2006-12-10	0.73173
366	2006-12-11	0.75183
...	...	...
386	2006-12-31	0.75183

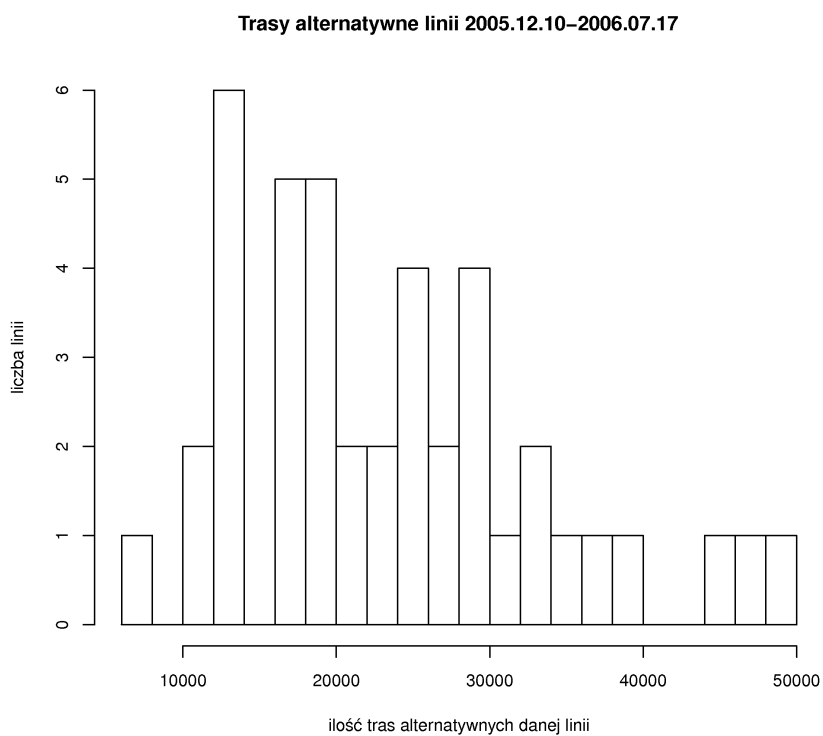


Rysunek E.1. Wartości funkcji kary  $f(x,y)$  poszczególnych linii

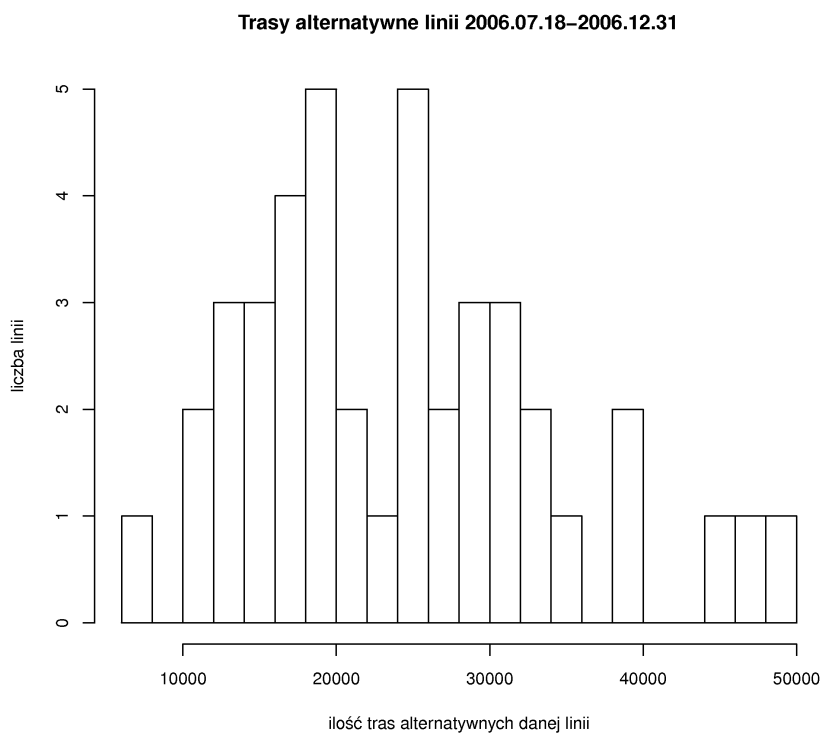
Tabela E.2: Liczba alternatywnych tras linii

Lp	Linia	Ilość tras	
		2005.12.10 -2006.07.17	2006.07.18 -2006.12.31
1	<i>linia_00a</i>	23809	25028
2	<i>linia_00b</i>	48272	48325
3	<i>linia_01a</i>	12773	14862
4	<i>linia_01b</i>	17352	17359
5	<i>linia_02a</i>	13468	13797
6	<i>linia_02b</i>	17569	17635
7	<i>linia_03a</i>	18291	18399
8	<i>linia_03b</i>	10925	11137
9	<i>linia_04a</i>	12514	12803
10	<i>linia_04b</i>	16584	16649
11	<i>linia_05a</i>	28080	28248
12	<i>linia_05b</i>	20964	21330
13	<i>linia_06a</i>	28231	30055
14	<i>linia_06b</i>	32439	32795
15	<i>linia_07a</i>	27265	27297
16	<i>linia_07b</i>	24054	28316
17	<i>linia_08a</i>	37554	38739
18	<i>linia_08b</i>	44135	44578
19	<i>linia_09a</i>	26994	27645
20	<i>linia_09b</i>	33028	33219
21	<i>linia_10a</i>	6478	6616
22	<i>linia_10b</i>	10720	10753
23	<i>linia_11a</i>	17802	18909
24	<i>linia_11b</i>	20893	21103
25	<i>linia_12a</i>	47681	47926
26	<i>linia_12b</i>	29302	30249
27	<i>linia_13a</i>	0	0
28	<i>linia_13b</i>	0	0
29	<i>linia_14a</i>	25100	25100
30	<i>linia_14b</i>	0	0
Kontynuacja na następnej stronie			

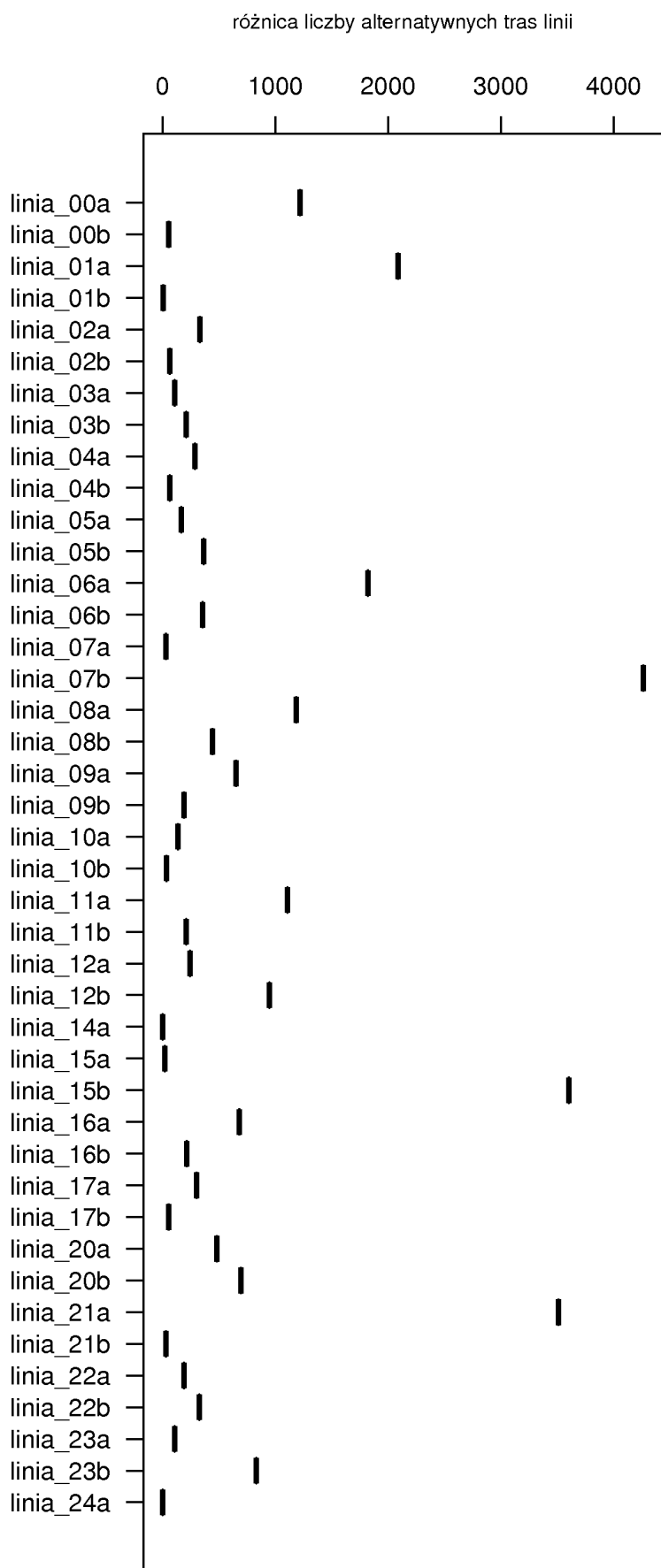
Lp	Linia	Ilość tras	
		2005.12.10 -2006.07.17	2006.07.18 -2006.12.31
31	<i>linia_15a</i>	25784	25806
32	<i>linia_15b</i>	22106	25710
33	<i>linia_16a</i>	29062	29744
34	<i>linia_16b</i>	35734	35949
35	<i>linia_17a</i>	12616	12916
36	<i>linia_17b</i>	16421	16478
37	<i>linia_18a</i>	0	0
38	<i>linia_18b</i>	0	0
39	<i>linia_19a</i>	0	0
40	<i>linia_19b</i>	0	0
41	<i>linia_20a</i>	39479	39960
42	<i>linia_20b</i>	31097	31794
43	<i>linia_21a</i>	18674	22185
44	<i>linia_21b</i>	19048	19078
45	<i>linia_22a</i>	18960	19150
46	<i>linia_22b</i>	13891	14219
47	<i>linia_23a</i>	19819	19925
48	<i>linia_23b</i>	13814	14645
49	<i>linia_24a</i>	25100	25100
50	<i>linia_24b</i>	0	0



Rysunek E.2. Trasy alternatywne linii 2005.12.10 - 2006.07.17



Rysunek E.3. Trasy alternatywne linii 2006.07.18 - 2006.12.31

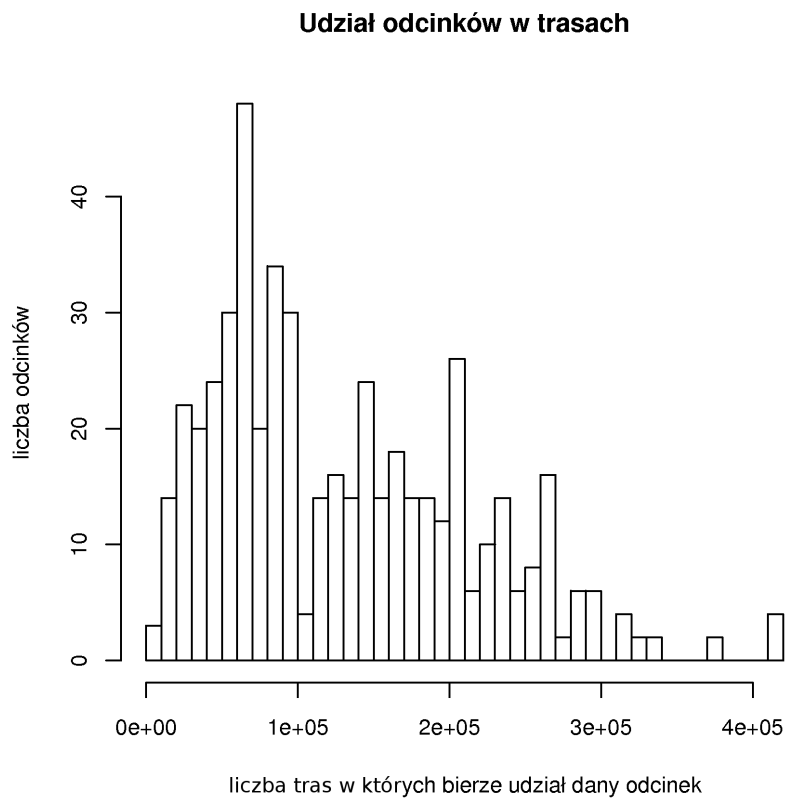


Rysunek E.4. Różnica ilości alternatywnych tras linii po modernizacji sieci (pomiędzy okresami 2005.12.10 – 2006.07.17 a 2006.07.18 – 2006.12.31)

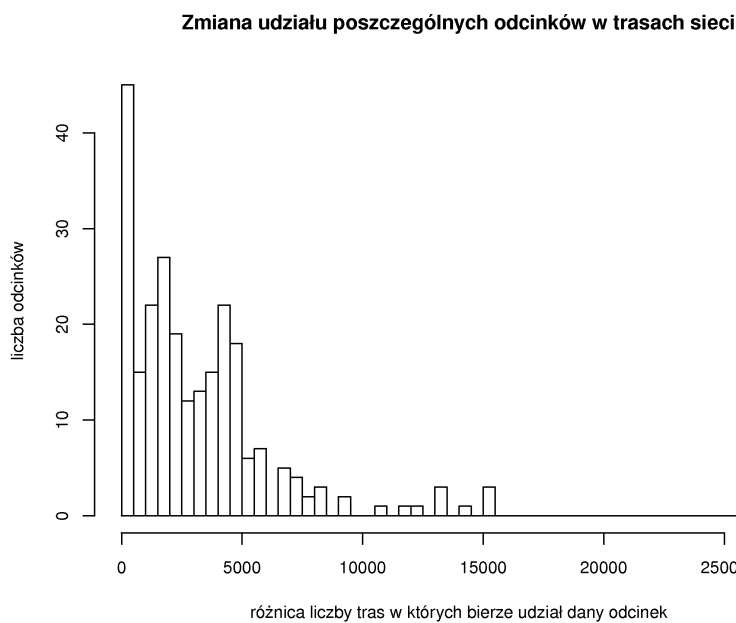


## Lista modułów sieci:

m\_1\_1, m\_1\_2, m\_2\_2, m\_2\_3, m\_3\_3, m\_3\_4, m\_4\_4, m\_4\_5, m\_5\_5, m\_5\_6, m\_6\_6, m\_6\_7, m\_7\_1, m\_7\_7, m\_8\_1, m\_8\_8, m\_9\_2, m\_9\_9, m\_10\_8, m\_10\_9, m\_11\_11, m\_11\_2, m\_12\_13, m\_12\_3, m\_13\_11, m\_13\_12, m\_14\_14, m\_14\_4, m\_15\_14, m\_15\_5, m\_16\_14, m\_16\_17, m\_17\_13, m\_17\_16, m\_18\_12, m\_18\_13, m\_19\_13, m\_19\_15, m\_20\_10, m\_20\_11, m\_21\_12, m\_21\_32, m\_22\_16, m\_22\_17, m\_23\_15, m\_23\_16, m\_24\_10, m\_24\_34, m\_25\_10, m\_25\_9, m\_26\_27, m\_26\_9, m\_27\_26, m\_27\_27, m\_28\_27, m\_28\_28, m\_29\_26, m\_29\_28, m\_30\_28, m\_30\_29, m\_31\_29, m\_31\_30, m\_32\_32, m\_32\_33, m\_33\_15, m\_33\_32, m\_34\_33, m\_34\_34, m\_35\_34, m\_35\_35, m\_36\_33, m\_36\_35, m\_37\_35, m\_37\_36, m\_38\_31, m\_38\_34, m\_39\_30, m\_39\_31, m\_40\_31, m\_40\_36, m\_41\_36, m\_41\_56, m\_42\_208, m\_42\_36, m\_43\_209, m\_43\_56, m\_44\_15, m\_44\_61, m\_45\_32, m\_45\_57, m\_46\_61, m\_46\_62, m\_47\_57, m\_47\_62, m\_48\_57, m\_48\_58, m\_49\_58, m\_49\_59, m\_50\_59, m\_50\_60, m\_51\_20, m\_51\_6, m\_52\_21, m\_52\_7, m\_53\_17, m\_53\_18, m\_54\_20, m\_54\_21, m\_55\_19, m\_55\_20, m\_56\_18, m\_56\_19, m\_57\_18, m\_57\_19, m\_58\_18, m\_58\_xxx, m\_59\_21, m\_59\_22, m\_60\_23, m\_60\_8, m\_61\_22, m\_61\_23, m\_62\_23, m\_62\_24, m\_63\_23, m\_63\_43, m\_64\_24, m\_64\_25, m\_65\_25, m\_65\_26, m\_66\_24, m\_66\_44, m\_67\_25, m\_67\_46, m\_68\_26, m\_68\_46, m\_69\_44, m\_69\_45, m\_70\_20, m\_70\_37, m\_71\_22, m\_71\_39, m\_72\_37, m\_72\_38, m\_73\_37, m\_73\_67, m\_74\_38, m\_74\_39, m\_75\_39, m\_75\_40, m\_76\_40, m\_76\_41, m\_77\_41, m\_77\_72, m\_78\_40, m\_78\_42, m\_79\_42, m\_79\_43, m\_80\_43, m\_80\_70, m\_81\_44, m\_81\_70, m\_82\_70, m\_82\_71, m\_83\_204, m\_83\_71, m\_84\_41, m\_84\_68, m\_85\_68, m\_85\_69, m\_86\_67, m\_86\_69, m\_87\_203, m\_87\_69, m\_88\_202, m\_88\_67, m\_89\_45, m\_89\_46, m\_90\_46, m\_90\_47, m\_91\_45, m\_91\_47, m\_92\_44, m\_92\_48, m\_93\_45, m\_93\_48, m\_94\_47, m\_94\_49, m\_95\_48, m\_95\_50, m\_96\_50, m\_96\_51, m\_97\_49, m\_97\_51, m\_98\_49, m\_98\_52, m\_99\_52, m\_99\_53, m\_100\_206, m\_100\_53, m\_101\_205, m\_101\_51, m\_102\_29, m\_102\_54, m\_103\_30, m\_103\_54, m\_104\_54, m\_104\_55, m\_105\_207, m\_105\_55, m\_106\_17, m\_106\_64, m\_107\_212, m\_107\_64, m\_108\_64, m\_108\_65, m\_109\_65, m\_109\_66, m\_110\_201, m\_110\_66, m\_111\_61, m\_111\_63, m\_112\_211, m\_112\_63, m\_113\_210, m\_113\_60, m\_114\_38, m\_114\_72, m\_115\_39, m\_115\_72, m\_301\_201, m\_301\_501, m\_302\_202, m\_302\_502, m\_303\_203, m\_303\_503, m\_304\_204, m\_304\_504, m\_305\_205, m\_305\_505, m\_306\_206, m\_306\_506, m\_307\_207, m\_307\_507, m\_308\_208, m\_308\_508, m\_309\_209, m\_309\_509, m\_310\_210, m\_310\_510, m\_311\_211, m\_311\_511, m\_312\_212, m\_312\_512, m\_313\_50, m\_313\_513, m\_314\_514, m\_314\_71, m\_315\_515, m\_315\_59, m\_316\_516, m\_316\_52, m\_317\_517, m\_317\_68, m\_318\_518, m\_318\_66, m\_319\_519, m\_319\_63, m\_320\_520, m\_320\_62, m\_401\_541, m\_401\_65, m\_402\_41, m\_402\_42, m\_402\_542, m\_403\_53, m\_403\_543, m\_404\_544, m\_404\_56, m\_405\_545, m\_405\_58.



Rysunek E.5. Udział odcinka w trasach



Rysunek E.6. Różnica w liczbie tras w jakich bierze udział dany odcinek (pomiędzy okresami 2005.12.10 – 2006.07.17 a 2006.07.18 – 2006.12.31)

## Opis udziału poszczególnych odcinków w realizacji tras linii:

## 1. Linia 01A:\*

lp	modul	udz_okr1	sum_okr1	rel_okr1	udz_okr2	sum_okr2	rel_okr2	roznica	zmian_pr
1	m_1_2	1324	163349	0.00811	1462	166628	0.00877	0.000668690578733	8.2
2	m_2_2	493	157774	0.00312	819	162345	0.00504	0.00192008926987	61.4
3	m_2_3	4307	299635	0.01437	4850	304533	0.01593	0.00155186921523	10.8
4	m_3_3	27	127751	0.00021	69	130797	0.00053	0.000316186396058	149.6
5	m_3_4	5276	286296	0.01843	5754	290670	0.0198	0.00136716492986	7.4
6	m_4_4	27	127751	0.00021	69	130797	0.00053	0.000316186396058	149.6
7	m_4_5	2744	166114	0.01652	2972	168429	0.01765	0.00112664109478	6.8
8	m_5_5	7	72186	0.0001	21	73899	0.00028	0.000187199927704	193.0
9	m_5_6	3174	223531	0.0142	3454	227334	0.01519	0.000994131037437	7.0
10	m_6_7	3585	322118	0.01113	4136	331246	0.01249	0.00135672663825	12.2
11	m_7_1	2570	370773	0.00693	3208	381317	0.00841	0.00148148295277	21.4
12	m_8_8	1246	207424	0.00601	1746	214689	0.00813	0.00212567483094	35.4
13	m_9_2	3522	199491	0.01765	3994	202404	0.01973	0.00207787980308	11.8
14	m_9_9	493	157774	0.00312	819	162345	0.00504	0.00192008926987	61.4
15	m_10_8	774	141654	0.00546	1445	148519	0.00973	0.00426537693298	78.1
16	m_10_9	4190	236110	0.01775	4785	240073	0.01993	0.00218547165772	12.3
17	m_11_11	539	63205	0.00853	606	64499	0.0094	0.000867688159356	10.2
18	m_12_13	2095	247218	0.00847	2385	252061	0.00946	0.000987693277635	11.7
19	m_12_3	3530	263902	0.01338	4039	269746	0.01497	0.00159716777476	11.9
20	m_13_11	826	172529	0.00479	1096	176750	0.0062	0.00141324773123	29.5
21	m_13_12	3069	239422	0.01282	3524	244063	0.01444	0.00162052396556	12.6
22	m_14_14	2532	120182	0.02107	2782	122241	0.02276	0.00169027488034	8.0
23	m_15_5	450	112982	0.00398	530	115803	0.00458	0.000593802746219	14.9
24	m_16_14	450	112982	0.00398	530	115803	0.00458	0.000593802746219	14.9
25	m_16_17	2532	120182	0.02107	2782	122241	0.02276	0.00169027488034	8.0
26	m_17_13	400	207825	0.00192	512	212622	0.00241	0.000483333013734	25.1
27	m_17_16	3572	260597	0.01371	3931	265420	0.01481	0.00110350085142	8.1
28	m_18_12	1232	243474	0.00506	1483	248709	0.00596	0.000902703305601	17.8
29	m_18_13	4234	290687	0.01457	4801	296529	0.01619	0.00162516441601	11.2
30	m_19_13	2868	233812	0.01227	3169	238637	0.01328	0.00101331843087	8.3
31	m_19_15	1263	211569	0.00597	1414	215974	0.00655	0.000577400721961	9.7
32	m_20_10	826	172529	0.00479	1096	176750	0.0062	0.00141324773123	29.5
33	m_20_11	2530	176217	0.01436	2918	179564	0.01625	0.00189317526478	13.2
34	m_21_12	2043	177810	0.01149	2379	182033	0.01307	0.00157926643179	13.7
35	m_21_32	1284	197490	0.0065	1489	201526	0.00739	0.000887029775361	13.6
36	m_22_16	498	214820	0.00232	560	219987	0.00255	0.000227385062529	9.8
37	m_22_17	5364	291775	0.01838	5828	297071	0.01962	0.00123417695949	6.7
38	m_23_15	566	185342	0.00305	651	189350	0.00344	0.000384263603732	12.6
39	m_23_16	2260	209525	0.01079	2500	213636	0.0117	0.000915845227569	8.5
40	m_24_10	728	209399	0.00348	1040	215271	0.00483	0.00135450343256	39.0
41	m_24_34	3179	207378	0.01533	3665	211003	0.01737	0.00203992635589	13.3
42	m_25_10	4996	260324	0.01919	5852	264678	0.02211	0.00291841537102	15.2
43	m_25_9	841	258657	0.00325	1405	266132	0.00528	0.00202792489813	62.4
44	m_26_27	560	274777	0.00204	779	279958	0.00278	0.000744543958885	36.5
45	m_26_9	4328	223705	0.01935	5061	227009	0.02229	0.00294736251324	15.2
46	m_27_26	358	139820	0.00256	501	142578	0.00351	0.000953431249548	37.2
47	m_27_27	6459	319014	0.02025	7479	323933	0.02309	0.00284134739571	14.0
48	m_28_27	4	32824	0.00012	4	33301	0.00012	-1.74553913933e-06	-1.4
49	m_28_28	2337	263090	0.00888	2700	267605	0.01009	0.00120660579431	13.6
50	m_29_26	1730	269305	0.00642	2004	274491	0.0073	0.000876842705287	13.6
51	m_29_28	1004	56950	0.01763	1177	57549	0.02045	0.00282263687923	16.0
52	m_30_28	56	101979	0.00055	75	103835	0.00072	0.000173167138003	31.5
53	m_30_29	1663	119890	0.01387	1944	121197	0.01604	0.00216895252903	15.6
54	m_31_29	56	79036	0.00071	75	80464	0.00093	0.000223555974166	31.6

55 m\_31\_30 1663 84458 0.01969 1944 85605 0.02271 0.00301869366855 15.3  
56 m\_32\_32 4842 330498 0.01465 5609 337014 0.01664 0.00199260734593 13.6  
57 m\_32\_33 784 318550 0.00246 1115 325509 0.00343 0.000964252424873 39.2  
58 m\_33\_15 3117 266535 0.01169 3551 272231 0.01304 0.00134954501993 11.5  
59 m\_33\_32 963 239434 0.00402 1142 244687 0.00467 0.000645201877666 16.0  
60 m\_34\_33 4842 259699 0.01864 5609 263613 0.02128 0.00263274115498 14.1  
61 m\_34\_34 784 253014 0.0031 1115 258595 0.00431 0.00121311887214 39.2  
62 m\_38\_31 56 92847 0.0006 75 94612 0.00079 0.000189568479151 31.4  
63 m\_38\_34 1663 102151 0.01628 1944 103277 0.01882 0.00254334383743 15.6  
64 m\_39\_30 56 89975 0.00062 75 91519 0.00082 0.000197106851589 31.7  
65 m\_39\_31 1663 93404 0.0178 1944 94701 0.02053 0.00272338965204 15.3  
66 m\_44\_15 2218 228708 0.0097 2380 233081 0.01021 0.000513087041512 5.3  
67 m\_44\_61 1073 209383 0.00512 1185 213676 0.00555 0.000421199276988 8.2  
68 m\_45\_32 1073 228541 0.0047 1185 234533 0.00505 0.000357593856169 7.6  
69 m\_45\_57 2218 233068 0.00952 2380 237987 0.01 0.000484010301734 5.1  
70 m\_46\_61 2218 198617 0.01117 2380 202995 0.01172 0.000557205374482 5.0  
71 m\_46\_62 1073 185187 0.00579 1185 188382 0.00629 0.000496266694379 8.6  
72 m\_47\_57 1073 185187 0.00579 1185 188382 0.00629 0.000496266694379 8.6  
73 m\_47\_62 2218 198617 0.01117 2380 202995 0.01172 0.000557205374482 5.0  
74 m\_51\_20 1574 92432 0.01703 1610 93308 0.01725 0.000225948776715 1.3  
75 m\_51\_6 1992 263205 0.00757 2313 271119 0.00853 0.000963063845845 12.7  
76 m\_52\_21 3149 166215 0.01895 3454 170566 0.02025 0.00130488384259 6.9  
77 m\_52\_7 2134 214870 0.00993 2526 220637 0.01145 0.00151708254019 15.3  
78 m\_53\_17 948 282476 0.00336 1090 289636 0.00376 0.000407307008584 12.1  
79 m\_53\_18 7896 415700 0.01899 8610 423718 0.02032 0.00132565140561 7.0  
80 m\_54\_20 3607 199793 0.01805 3791 202347 0.01874 0.000681457531212 3.8  
81 m\_54\_21 2137 238813 0.00895 2635 247100 0.01066 0.00171527482656 19.2  
82 m\_55\_19 948 282476 0.00336 1090 289636 0.00376 0.000407307008584 12.1  
83 m\_55\_20 7896 415700 0.01899 8610 423718 0.02032 0.00132565140561 7.0  
84 m\_56\_18 474 141238 0.00336 545 144818 0.00376 0.000407307008584 12.1  
85 m\_56\_19 3948 207850 0.01899 4305 211859 0.02032 0.00132565140561 7.0  
86 m\_57\_18 474 141238 0.00336 545 144818 0.00376 0.000407307008584 12.1  
87 m\_57\_19 3948 207850 0.01899 4305 211859 0.02032 0.00132565140561 7.0  
88 m\_59\_21 3915 233438 0.01677 4317 236964 0.01822 0.00144690874262 8.6  
89 m\_59\_22 3460 223803 0.01546 4089 231646 0.01765 0.0021919093058 14.2  
90 m\_60\_23 1248 258756 0.00482 2351 270776 0.00868 0.00385937682687 80.0  
91 m\_60\_8 3418 145788 0.02345 3945 147641 0.02672 0.00327521766094 14.0  
92 m\_61\_22 3372 169235 0.01992 3765 171362 0.02197 0.00204607566258 10.3  
93 m\_61\_23 550 136557 0.00403 1139 143315 0.00795 0.0039199060071 97.3  
94 m\_62\_23 4920 200843 0.0245 5616 203073 0.02766 0.0031583334857 12.9  
95 m\_62\_24 150 241644 0.00062 213 246193 0.00087 0.000244427006078 39.4  
96 m\_63\_23 1870 114180 0.01638 2094 115930 0.01806 0.00168497467161 10.3  
97 m\_63\_43 1648 153669 0.01072 3277 167898 0.01952 0.00879345338734 82.0  
98 m\_64\_24 2886 165106 0.01748 3297 166829 0.01976 0.00228307135954 13.1  
99 m\_64\_25 1538 177711 0.00865 1789 181179 0.00987 0.0012197119482 14.1  
100 m\_65\_25 1317 201066 0.00655 1519 204374 0.00743 0.000882364238084 13.5  
101 m\_65\_26 3618 188552 0.01919 4182 191262 0.02187 0.00267695410969 14.0  
102 m\_66\_24 3926 142059 0.02764 4467 143686 0.03109 0.00345221921223 12.5  
103 m\_66\_44 504 170255 0.00296 572 172456 0.00332 0.000356522566159 12.0  
104 m\_67\_25 4339 144867 0.02995 5071 146778 0.03455 0.00459716355165 15.3  
105 m\_67\_46 690 169986 0.00406 900 174240 0.00517 0.00110613144432 27.3  
106 m\_68\_26 3831 138985 0.02756 4460 141038 0.03162 0.00405855762342 14.7  
107 m\_68\_46 757 159632 0.00474 972 163513 0.00594 0.00120232451753 25.4  
108 m\_69\_44 4217 203435 0.02073 5041 212671 0.0237 0.00297429900091 14.3  
109 m\_69\_45 489 206174 0.00237 551 208978 0.00264 0.000264858120511 11.2  
110 m\_70\_20 395 266392 0.00148 536 279609 0.00192 0.000434185355074 29.3  
111 m\_70\_37 8395 189823 0.04423 8509 191127 0.04452 0.000294725838718 0.7

112 m\_71\_22 543 64203 0.00846 552 65602 0.00841 -4.31711022383e-05 -0.5  
 113 m\_71\_39 2910 87246 0.03335 2950 88331 0.0334 4.31439511942e-05 0.1  
 114 m\_72\_37 3022 166219 0.01818 3101 167771 0.01848 0.000302694423157 1.7  
 115 m\_72\_38 2259 95521 0.02365 2300 98975 0.02324 -0.000411058440672 -1.7  
 116 m\_73\_37 70 145228 0.00048 196 160348 0.00122 0.000740340691323 153.6  
 117 m\_73\_67 8833 139357 0.06338 8970 140662 0.06377 0.000385917435283 0.6  
 118 m\_74\_38 3022 166219 0.01818 3101 167771 0.01848 0.000302694423157 1.7  
 119 m\_75\_39 3412 199723 0.01708 3470 202120 0.01717 8.43581283093e-05 0.5  
 120 m\_76\_40 1006 158039 0.00637 1068 162483 0.00657 0.000207477956448 3.3  
 121 m\_76\_41 0 0 0.0 2089 27649 0.07555 0.0755542695938 new  
 122 m\_77\_41 5016 152068 0.03299 5067 156053 0.03247 -0.000515505598247 -1.6  
 123 m\_78\_40 2466 112918 0.02184 4555 140567 0.0324 0.0105656196419 48.4  
 124 m\_78\_42 60 71234 0.00084 64 73281 0.00087 3.10561174491e-05 3.7  
 125 m\_79\_42 2466 112918 0.02184 4555 140567 0.0324 0.0105656196419 48.4  
 126 m\_79\_43 60 71234 0.00084 64 73281 0.00087 3.10561174491e-05 3.7  
 127 m\_80\_43 2644 142685 0.01853 3327 157793 0.02108 0.00255425645476 13.8  
 128 m\_80\_70 16 140490 0.00011 19 142475 0.00013 1.94696198479e-05 17.1  
 129 m\_81\_44 16 133987 0.00012 19 135794 0.00014 2.05032466227e-05 17.2  
 130 m\_81\_70 2644 149486 0.01769 3327 161326 0.02062 0.00293556316564 16.6  
 131 m\_84\_41 281 63262 0.00444 292 63721 0.00458 0.000140631709065 3.2  
 132 m\_84\_68 4291 57291 0.0749 6380 84940 0.07511 0.000213517564732 0.3  
 133 m\_85\_68 281 63262 0.00444 292 63721 0.00458 0.000140631709065 3.2  
 134 m\_85\_69 4291 57291 0.0749 6380 84940 0.07511 0.000213517564732 0.3  
 135 m\_86\_67 70 95028 0.00074 196 110148 0.00178 0.00104279905291 141.6  
 136 m\_86\_69 8833 89157 0.09907 8970 90462 0.09916 8.52345541758e-05 0.1  
 137 m\_87\_203 12773 77607 0.16459 14862 91073 0.16319 -0.00139789637226 -0.8  
 138 m\_89\_45 1258 208348 0.00604 1646 215234 0.00765 0.00160951571153 26.7  
 139 m\_89\_46 2162 189202 0.01143 2463 191553 0.01286 0.00143111965274 12.5  
 140 m\_90\_46 6008 94650 0.06348 7068 96263 0.07342 0.00994788516815 15.7  
 141 m\_90\_47 189 121270 0.00156 226 122519 0.00184 0.000286106042646 18.4  
 142 m\_91\_45 3012 59452 0.05066 3456 62301 0.05547 0.00480990533267 9.5  
 143 m\_91\_47 102 68338 0.00149 121 69272 0.00175 0.000254156504088 17.0  
 144 m\_92\_44 2353 88110 0.02671 2753 92341 0.02981 0.00310815419978 11.6  
 145 m\_92\_48 31 98068 0.00032 40 99272 0.0004 8.68261638944e-05 27.5  
 146 m\_93\_45 1775 51366 0.03456 2033 51847 0.03921 0.00465559428197 13.5  
 147 m\_93\_48 53 64365 0.00082 61 64864 0.00094 0.000117000323566 14.2  
 148 m\_94\_47 9020 154102 0.05853 10524 158564 0.06637 0.00783801663839 13.4  
 149 m\_94\_49 291 189608 0.00153 347 191791 0.00181 0.000274515753391 17.9  
 150 m\_95\_48 4128 139476 0.0296 4786 144188 0.03319 0.00359628637921 12.2  
 151 m\_95\_50 84 162433 0.00052 101 164136 0.00062 9.82070775916e-05 19.0  
 152 m\_96\_50 4128 128238 0.03219 4786 132148 0.03622 0.00402682240665 12.5  
 153 m\_96\_51 84 144614 0.00058 101 146257 0.00069 0.00010970861268 18.9  
 154 m\_97\_49 84 132167 0.00064 101 134327 0.00075 0.000116336934171 18.3  
 155 m\_97\_51 4128 144009 0.02866 4786 147031 0.03255 0.0038860835294 13.6  
 156 m\_98\_49 12773 74295 0.17192 14862 77822 0.19097 0.0190515342 11.1  
 157 m\_99\_52 12773 45233 0.28238 14862 48078 0.30912 0.0267403441684 9.5  
 158 m\_100\_53 12773 45233 0.28238 14862 48078 0.30912 0.0267403441684 9.5  
 159 m\_114\_72 2259 95521 0.02365 2300 98975 0.02324 -0.000411058440672 -1.7  
 160 m\_115\_72 2757 56547 0.04876 2767 57078 0.04848 -0.000278380182421 -0.6  
 161 m\_303\_503 12773 77607 0.16459 14862 91073 0.16319 -0.00139789637226 -0.8  
 162 m\_306\_206 12773 45233 0.28238 14862 48078 0.30912 0.0267403441684 9.5

## 2. Linia 01B:\*

lp modul udz\_okr1 sum\_okr1 rel\_okr1 udz\_okr2 sum\_okr2 rel\_okr2 roznica zmian\_pr  
 1 m\_1\_2 3801 163349 0.02327 3801 166628 0.02281 -0.000457904408284 -2.0  
 2 m\_2\_2 4600 157774 0.02916 4600 162345 0.02833 -0.000820908399269 -2.8  
 3 m\_2\_3 4041 299635 0.01349 4041 304533 0.01327 -0.000216910576702 -1.6  
 4 m\_3\_3 2606 127751 0.0204 2606 130797 0.01992 -0.000475053168435 -2.3

5 m\_3\_4 1377 286296 0.00481 1377 290670 0.00474 -7.23764417504e-05 -1.5  
6 m\_4\_4 2606 127751 0.0204 2606 130797 0.01992 -0.000475053168435 -2.3  
7 m\_4\_5 815 166114 0.00491 815 168429 0.00484 -6.74350211168e-05 -1.4  
8 m\_5\_5 1266 72186 0.01754 1266 73899 0.01713 -0.000406536486922 -2.3  
9 m\_5\_6 1877 223531 0.0084 1877 227334 0.00826 -0.000140471572297 -1.7  
10 m\_6\_7 5550 322118 0.01723 5552 331246 0.01676 -0.000468753737859 -2.7  
11 m\_7\_1 8040 370773 0.02168 8047 381317 0.0211 -0.000581250237485 -2.7  
12 m\_8\_8 4239 207424 0.02044 4246 214689 0.01978 -0.000658955288013 -3.2  
13 m\_9\_2 1806 199491 0.00905 1806 202404 0.00892 -0.000130291424485 -1.4  
14 m\_9\_9 4600 157774 0.02916 4600 162345 0.02833 -0.000820908399269 -2.8  
15 m\_10\_8 3827 141654 0.02702 3827 148519 0.02577 -0.00124878635537 -4.6  
16 m\_10\_9 3763 236110 0.01594 3763 240073 0.01567 -0.000263087727684 -1.7  
17 m\_11\_11 1566 63205 0.02478 1566 64499 0.02428 -0.000497074651906 -2.0  
18 m\_12\_13 4792 247218 0.01938 4792 252061 0.01901 -0.000372430752802 -1.9  
19 m\_12\_3 4122 263902 0.01562 4122 269746 0.01528 -0.000338392321452 -2.2  
20 m\_13\_11 3658 172529 0.0212 3658 176750 0.0207 -0.000506334506886 -2.4  
21 m\_13\_12 3469 239422 0.01449 3469 244063 0.01421 -0.000275517931121 -1.9  
22 m\_14\_14 562 120182 0.00468 562 122241 0.0046 -7.87655556638e-05 -1.7  
23 m\_15\_5 2402 112982 0.02126 2402 115803 0.02074 -0.000517901323073 -2.4  
24 m\_16\_14 2402 112982 0.02126 2402 115803 0.02074 -0.000517901323073 -2.4  
25 m\_16\_17 562 120182 0.00468 562 122241 0.0046 -7.87655556638e-05 -1.7  
26 m\_17\_13 3375 207825 0.01624 3375 212622 0.01587 -0.000366384850158 -2.3  
27 m\_17\_16 1387 260597 0.00532 1387 265420 0.00523 -9.6714294108e-05 -1.8  
28 m\_18\_12 4743 243474 0.01948 4743 248709 0.01907 -0.000410039522014 -2.1  
29 m\_18\_13 3348 290687 0.01152 3348 296529 0.01129 -0.00022691030477 -2.0  
30 m\_19\_13 2161 233812 0.00924 2161 238637 0.00906 -0.000186873408505 -2.0  
31 m\_19\_15 3424 211569 0.01618 3424 215974 0.01585 -0.000330085284565 -2.0  
32 m\_20\_10 3658 172529 0.0212 3658 176750 0.0207 -0.000506334506886 -2.4  
33 m\_20\_11 1903 176217 0.0108 1903 179564 0.0106 -0.000201292422285 -1.9  
34 m\_21\_12 2053 177810 0.01155 2053 182033 0.01128 -0.000267857445218 -2.3  
35 m\_21\_32 3259 197490 0.0165 3259 201526 0.01617 -0.000330490761184 -2.0  
36 m\_22\_16 4668 214820 0.02173 4668 219987 0.02122 -0.000510384620755 -2.3  
37 m\_22\_17 1152 291775 0.00395 1152 297071 0.00388 -7.03869455965e-05 -1.8  
38 m\_23\_15 2669 185342 0.0144 2669 189350 0.0141 -0.000304815559501 -2.1  
39 m\_23\_16 1141 209525 0.00545 1141 213636 0.00534 -0.000104790722328 -1.9  
40 m\_24\_10 4895 209399 0.02338 4895 215271 0.02274 -0.000637644490336 -2.7  
41 m\_24\_34 1923 207378 0.00927 1923 211003 0.00911 -0.000159307412342 -1.7  
42 m\_25\_10 2844 260324 0.01092 2844 264678 0.01075 -0.000179715677182 -1.6  
43 m\_25\_9 7571 258657 0.02927 7571 266132 0.02845 -0.000822134946754 -2.8  
44 m\_26\_27 8344 274777 0.03037 8344 279958 0.0298 -0.000561971935586 -1.9  
45 m\_26\_9 887 223705 0.00397 887 227009 0.00391 -5.77091784662e-05 -1.5  
46 m\_27\_26 5017 139820 0.03588 5017 142578 0.03519 -0.000694091213464 -1.9  
47 m\_27\_27 2891 319014 0.00906 2891 323933 0.00892 -0.000137613163454 -1.5  
48 m\_28\_27 4 32824 0.00012 4 33301 0.00012 -1.74553913933e-06 -1.4  
49 m\_28\_28 5335 263090 0.02028 5335 267605 0.01994 -0.000342131935143 -1.7  
50 m\_29\_26 6472 269305 0.02403 6472 274491 0.02358 -0.000454044579073 -1.9  
51 m\_29\_28 116 56950 0.00204 116 57549 0.00202 -2.12008513843e-05 -1.0  
52 m\_30\_28 1184 101979 0.01161 1184 103835 0.0114 -0.000207527262848 -1.8  
53 m\_30\_29 159 119890 0.00133 159 121197 0.00131 -1.43020364937e-05 -1.1  
54 m\_31\_29 1184 79036 0.01498 1184 80464 0.01471 -0.000265860207265 -1.8  
55 m\_31\_30 159 84458 0.00188 159 85605 0.00186 -2.52243868148e-05 -1.3  
56 m\_32\_32 2082 330498 0.0063 2082 337014 0.00618 -0.000121799364604 -1.9  
57 m\_32\_33 6079 318550 0.01908 6079 325509 0.01868 -0.000407979526499 -2.1  
58 m\_33\_15 1817 266535 0.00682 1817 272231 0.00667 -0.000142637291333 -2.1  
59 m\_33\_32 3800 239434 0.01587 3800 244687 0.01553 -0.000340717374262 -2.1  
60 m\_34\_33 2082 259699 0.00802 2082 263613 0.0079 -0.000119032195925 -1.5  
61 m\_34\_34 6079 253014 0.02403 6079 258595 0.02351 -0.000518536688508 -2.2

62 m\_38\_31 1184 92847 0.01275 1184 94612 0.01251 -0.00023789335614 -1.9  
63 m\_38\_34 159 102151 0.00156 159 103277 0.00154 -1.6970290564e-05 -1.1  
64 m\_39\_30 1184 89975 0.01316 1184 91519 0.01294 -0.000222006595539 -1.7  
65 m\_39\_31 159 93404 0.0017 159 94701 0.00168 -2.33140143934e-05 -1.4  
66 m\_44\_15 1969 228708 0.00861 1969 233081 0.00845 -0.000161523964181 -1.9  
67 m\_44\_61 2777 209383 0.01326 2777 213676 0.013 -0.000266464651672 -2.0  
68 m\_45\_32 2777 228541 0.01215 2777 234533 0.01184 -0.000310441377821 -2.6  
69 m\_45\_57 1969 233068 0.00845 1969 237987 0.00827 -0.00017461705318 -2.1  
70 m\_46\_61 1969 198617 0.00991 1969 202995 0.0097 -0.000213805914387 -2.2  
71 m\_46\_62 2777 185187 0.015 2777 188382 0.01474 -0.000254329561588 -1.7  
72 m\_47\_57 2777 185187 0.015 2777 188382 0.01474 -0.000254329561588 -1.7  
73 m\_47\_62 1969 198617 0.00991 1969 202995 0.0097 -0.000213805914387 -2.2  
74 m\_51\_20 289 92432 0.00313 289 93308 0.0031 -2.93535558108e-05 -0.9  
75 m\_51\_6 5228 263205 0.01986 5230 271119 0.01929 -0.000572422263933 -2.9  
76 m\_52\_21 2157 166215 0.01298 2159 170566 0.01266 -0.000319311342909 -2.5  
77 m\_52\_7 4647 214870 0.02163 4654 220637 0.02109 -0.000533560027217 -2.5  
78 m\_53\_17 7070 282476 0.02503 7070 289636 0.02441 -0.000618725962994 -2.5  
79 m\_53\_18 1714 415700 0.00412 1714 423718 0.00405 -7.8022512472e-05 -1.9  
80 m\_54\_20 2455 199793 0.01229 2455 202347 0.01213 -0.000155094126576 -1.3  
81 m\_54\_21 4558 238813 0.01909 4563 247100 0.01847 -0.000619855141066 -3.2  
82 m\_55\_19 7070 282476 0.02503 7070 289636 0.02441 -0.000618725962994 -2.5  
83 m\_55\_20 1714 415700 0.00412 1714 423718 0.00405 -7.8022512472e-05 -1.9  
84 m\_56\_18 3535 141238 0.02503 3535 144818 0.02441 -0.000618725962994 -2.5  
85 m\_56\_19 857 207850 0.00412 857 211859 0.00405 -7.8022512472e-05 -1.9  
86 m\_57\_18 3535 141238 0.02503 3535 144818 0.02441 -0.000618725962994 -2.5  
87 m\_57\_19 857 207850 0.00412 857 211859 0.00405 -7.8022512472e-05 -1.9  
88 m\_59\_21 3722 233438 0.01594 3729 236964 0.01574 -0.00020770884469 -1.3  
89 m\_59\_22 3335 223803 0.0149 3342 231646 0.01443 -0.000474311882461 -3.2  
90 m\_60\_23 5585 258756 0.02158 5592 270776 0.02065 -0.000932284129949 -4.3  
91 m\_60\_8 1282 145788 0.00879 1282 147641 0.00868 -0.00011036584387 -1.3  
92 m\_61\_22 1209 169235 0.00714 1211 171362 0.00707 -7.70013275178e-05 -1.1  
93 m\_61\_23 3001 136557 0.02198 3008 143315 0.02099 -0.000987440005911 -4.5  
94 m\_62\_23 226 200843 0.00113 226 203073 0.00111 -1.23567544809e-05 -1.1  
95 m\_62\_24 6187 241644 0.0256 6194 246193 0.02516 -0.000444657641425 -1.7  
96 m\_63\_23 2265 114180 0.01984 2267 115930 0.01955 -0.000282195495597 -1.4  
97 m\_63\_43 2399 153669 0.01561 2406 167898 0.01433 -0.00128134760843 -8.2  
98 m\_64\_24 2365 165106 0.01432 2365 166829 0.01418 -0.000147938775608 -1.0  
99 m\_64\_25 3832 177711 0.02156 3835 181179 0.02117 -0.000396187359181 -1.8  
100 m\_65\_25 5599 201066 0.02785 5599 204374 0.0274 -0.000450725039222 -1.6  
101 m\_65\_26 1907 188552 0.01011 1907 191262 0.00997 -0.000143304605434 -1.4  
102 m\_66\_24 808 142059 0.00569 808 143686 0.00562 -6.4404424768e-05 -1.1  
103 m\_66\_44 5302 170255 0.03114 5306 172456 0.03077 -0.000374254836852 -1.2  
104 m\_67\_25 1006 144867 0.00694 1006 146778 0.00685 -9.04124494971e-05 -1.3  
105 m\_67\_46 6165 169986 0.03627 6168 174240 0.0354 -0.000868243597698 -2.4  
106 m\_68\_26 1084 138985 0.0078 1084 141038 0.00769 -0.000113530920572 -1.5  
107 m\_68\_46 5874 159632 0.0368 5874 163513 0.03592 -0.000873384224813 -2.4  
108 m\_69\_44 794 203435 0.0039 794 212671 0.00373 -0.000169500303527 -4.3  
109 m\_69\_45 5374 206174 0.02607 5377 208978 0.02573 -0.000335381120482 -1.3  
110 m\_70\_20 12674 266392 0.04758 12681 279609 0.04535 -0.0022388639389 -4.7  
111 m\_70\_37 276 189823 0.00145 276 191127 0.00144 -9.92009423383e-06 -0.7  
112 m\_71\_22 2513 64203 0.03914 2518 65602 0.03838 -0.000758497011108 -1.9  
113 m\_71\_39 334 87246 0.00383 334 88331 0.00378 -4.70237795821e-05 -1.2  
114 m\_72\_37 2604 166219 0.01567 2604 167771 0.01552 -0.000144922273487 -0.9  
115 m\_72\_38 1836 95521 0.01922 1836 98975 0.01855 -0.000670765379795 -3.5  
116 m\_73\_37 11769 145228 0.08104 11776 160348 0.07344 -0.00759782440966 -9.4  
117 m\_73\_67 139 139357 0.001 139 140662 0.00099 -9.25379203764e-06 -0.9  
118 m\_74\_38 2604 166219 0.01567 2604 167771 0.01552 -0.000144922273487 -0.9

119 m\_75\_39 5534 199723 0.02771 5539 202120 0.0274 -0.000303863929912 -1.1  
 120 m\_76\_40 8309 158039 0.05258 8316 162483 0.05118 -0.00139489115793 -2.7  
 121 m\_76\_41 0 0 0.0 7 27649 0.00025 0.000253173713335 new  
 122 m\_77\_41 2587 152068 0.01701 2587 156053 0.01658 -0.000434424988459 -2.6  
 123 m\_78\_40 231 112918 0.00205 238 140567 0.00169 -0.000352589529542 -17.2  
 124 m\_78\_42 3006 71234 0.0422 3008 73281 0.04105 -0.00115147515081 -2.7  
 125 m\_79\_42 231 112918 0.00205 238 140567 0.00169 -0.000352589529542 -17.2  
 126 m\_79\_43 3006 71234 0.0422 3008 73281 0.04105 -0.00115147515081 -2.7  
 127 m\_80\_43 32 142685 0.00022 32 157793 0.0002 -2.1472909896e-05 -9.6  
 128 m\_80\_70 2941 140490 0.02093 2941 142475 0.02064 -0.000291656364132 -1.4  
 129 m\_81\_44 2941 133987 0.02195 2941 135794 0.02166 -0.000292085456091 -1.3  
 130 m\_81\_70 32 149486 0.00021 32 161326 0.0002 -1.57107455128e-05 -7.3  
 131 m\_84\_41 6161 63262 0.09739 6168 63721 0.0968 -0.000591663418928 -0.6  
 132 m\_84\_68 439 57291 0.00766 446 84940 0.00525 -0.00241186937369 -31.5  
 133 m\_85\_68 6161 63262 0.09739 6168 63721 0.0968 -0.000591663418928 -0.6  
 134 m\_85\_69 439 57291 0.00766 446 84940 0.00525 -0.00241186937369 -31.5  
 135 m\_86\_67 11769 95028 0.12385 11776 110148 0.10691 -0.0169370060793 -13.7  
 136 m\_86\_69 139 89157 0.00156 139 90462 0.00154 -2.24907366341e-05 -1.4  
 137 m\_87\_69 17352 89449 0.19399 17359 89540 0.19387 -0.000118973361878 -0.1  
 138 m\_89\_45 3226 208348 0.01548 3226 215234 0.01499 -0.000495371673127 -3.2  
 139 m\_89\_46 1777 189202 0.00939 1777 191553 0.00928 -0.000115272410778 -1.2  
 140 m\_90\_46 313 94650 0.00331 313 96263 0.00325 -5.54113453239e-05 -1.7  
 141 m\_90\_47 8813 121270 0.07267 8816 122519 0.07196 -0.000716362470503 -1.0  
 142 m\_91\_45 145 59452 0.00244 145 62301 0.00233 -0.000111531865087 -4.6  
 143 m\_91\_47 3677 68338 0.05381 3680 69272 0.05312 -0.000682164224427 -1.3  
 144 m\_92\_44 46 88110 0.00052 46 92341 0.0005 -2.39210964626e-05 -4.6  
 145 m\_92\_48 2869 98068 0.02926 2870 99272 0.02891 -0.000344742461589 -1.2  
 146 m\_93\_45 80 51366 0.00156 80 51847 0.00154 -1.44489298934e-05 -0.9  
 147 m\_93\_48 2577 64365 0.04004 2577 64864 0.03973 -0.000308007621877 -0.8  
 148 m\_94\_47 458 154102 0.00297 458 158564 0.00289 -8.36338666036e-05 -2.8  
 149 m\_94\_49 12490 189608 0.06587 12496 191791 0.06515 -0.00071849152907 -1.1  
 150 m\_95\_48 126 139476 0.0009 126 144188 0.00087 -2.95220985175e-05 -3.3  
 151 m\_95\_50 5446 162433 0.03353 5447 164136 0.03319 -0.000341775246068 -1.0  
 152 m\_96\_50 126 128238 0.00098 126 132148 0.00095 -2.9071669431e-05 -3.0  
 153 m\_96\_51 5446 144614 0.03766 5447 146257 0.03724 -0.000416209312271 -1.1  
 154 m\_97\_49 5446 132167 0.04121 5447 134327 0.04055 -0.000655145729407 -1.6  
 155 m\_97\_51 126 144009 0.00087 126 147031 0.00086 -1.79831786814e-05 -2.1  
 156 m\_98\_52 17352 97959 0.17714 17359 98345 0.17651 -0.000624070752979 -0.4  
 157 m\_99\_53 17352 62225 0.27886 17359 62396 0.27821 -0.00065204316777 -0.2  
 158 m\_100\_206 17352 62225 0.27886 17359 62396 0.27821 -0.00065204316777 -0.2  
 159 m\_114\_72 1836 95521 0.01922 1836 98975 0.01855 -0.000670765379795 -3.5  
 160 m\_115\_72 751 56547 0.01328 751 57078 0.01316 -0.000123553809891 -0.9  
 161 m\_303\_203 17352 89449 0.19399 17359 89540 0.19387 -0.000118973361878 -0.1  
 162 m\_306\_506 17352 62225 0.27886 17359 62396 0.27821 -0.00065204316777 -0.2

\*) Oznaczenia:

lp - liczba porządkowa,

modul - oznaczenie modułu sieci,

udz\_okr1 - liczba tras wyróżnionej linii przechodzących przez dany odcinek w okresie 2005.12.10 – 2006.07.17,

sum\_okr1 - liczba wszystkich tras przechodzących przez dany odcinek w okresie 2005.12.10 – 2006.07.17,

rel\_okr1 -  $udz\_okr1/sum\_okr1$ ,

udz\_okr2 - liczba tras wyróżnionej linii przechodzących przez dany odcinek w okresie 2006.07.18 – 2006.12.31,

sum\_okr2 - liczba wszystkich tras przechodzących przez dany odcinek w okresie 2006.07.18 – 2006.12.31,



---

$rel\_okr2 - udz\_okr2/sum\_okr2$  ,

$roznica - rel\_okr2 - rel\_okr1$ ,

$zmian\_pr$  - zmiana udziału w realizacji tras na danym odcinku ( $roznica/rel\_okr1$ ) wyrażona w procentach.

## Opis potencjału przewozowego wyróżnionej linii na poszczególnych odcinkach:

## 1. Linia 01A:\*

lp	modul	pra_okr1	sum_okr1	rel_okr1	pra_okr2	sum_okr2	rel_okr2	roznica	zmian_pr
1	m_1_2	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
2	m_2_2	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
3	m_2_3	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
4	m_3_3	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
5	m_3_4	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
6	m_4_4	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
7	m_4_5	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
8	m_5_5	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
9	m_5_6	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
10	m_6_7	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
11	m_7_1	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
12	m_8_8	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
13	m_9_2	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
14	m_9_9	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
15	m_10_8	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
16	m_10_9	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
17	m_11_11	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
18	m_12_13	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
19	m_12_3	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
20	m_13_11	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
21	m_13_12	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
22	m_14_14	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
23	m_15_5	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
24	m_16_14	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
25	m_16_17	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
26	m_17_13	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
27	m_17_16	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
28	m_18_12	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
29	m_18_13	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
30	m_19_13	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
31	m_19_15	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
32	m_20_10	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
33	m_20_11	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
34	m_21_12	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
35	m_21_32	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
36	m_22_16	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
37	m_22_17	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
38	m_23_15	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
39	m_23_16	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
40	m_24_10	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
41	m_24_34	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
42	m_25_10	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
43	m_25_9	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
44	m_26_27	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
45	m_26_9	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
46	m_27_26	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
47	m_27_27	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
48	m_28_27	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
49	m_28_28	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
50	m_29_26	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
51	m_29_28	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
52	m_30_28	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
53	m_30_29	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
54	m_31_29	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0

---

55	m_31_30	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
56	m_32_32	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
57	m_32_33	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
58	m_33_15	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
59	m_33_32	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
60	m_34_33	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
61	m_34_34	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
62	m_38_31	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
63	m_38_34	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
64	m_39_30	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
65	m_39_31	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
66	m_44_15	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
67	m_44_61	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
68	m_45_32	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
69	m_45_57	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
70	m_46_61	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
71	m_46_62	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
72	m_47_57	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
73	m_47_62	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
74	m_51_20	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
75	m_51_6	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
76	m_52_21	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
77	m_52_7	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
78	m_53_17	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
79	m_53_18	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
80	m_54_20	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
81	m_54_21	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
82	m_55_19	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
83	m_55_20	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
84	m_56_18	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
85	m_56_19	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
86	m_57_18	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
87	m_57_19	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
88	m_59_21	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
89	m_59_22	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
90	m_60_23	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
91	m_60_8	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
92	m_61_22	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
93	m_61_23	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
94	m_62_23	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
95	m_62_24	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
96	m_63_23	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
97	m_63_43	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
98	m_64_24	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
99	m_64_25	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
100	m_65_25	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
101	m_65_26	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
102	m_66_24	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
103	m_66_44	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
104	m_67_25	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
105	m_67_46	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
106	m_68_26	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
107	m_68_46	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
108	m_69_44	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
109	m_69_45	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
110	m_70_20	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
111	m_70_37	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0

112	m_71_22	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
113	m_71_39	21750	869394	0.02502	21750	869394	0.02502	0.0	0.0
114	m_72_37	21750	869394	0.02502	21750	869394	0.02502	0.0	0.0
115	m_72_38	21750	869394	0.02502	21750	869394	0.02502	0.0	0.0
116	m_73_37	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
117	m_73_67	21750	869394	0.02502	21750	869394	0.02502	0.0	0.0
118	m_74_38	21750	869394	0.02502	21750	869394	0.02502	0.0	0.0
119	m_75_39	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
120	m_76_40	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
121	m_76_41	0 0 0.0	21750	881146	0.02468	0.0246837640981	new		
122	m_77_41	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
123	m_78_40	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
124	m_78_42	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
125	m_79_42	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
126	m_79_43	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
127	m_80_43	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
128	m_80_70	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
129	m_81_44	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
130	m_81_70	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
131	m_84_41	21750	841004	0.02586	21750	841004	0.02586	0.0	0.0
132	m_84_68	21750	881146	0.02468	21750	881146	0.02468	0.0	0.0
133	m_85_68	21750	841004	0.02586	21750	841004	0.02586	0.0	0.0
134	m_85_69	21750	881146	0.02468	21750	881146	0.02468	0.0	0.0
135	m_86_67	21750	881146	0.02468	21750	881146	0.02468	0.0	0.0
136	m_86_69	21750	841004	0.02586	21750	841004	0.02586	0.0	0.0
137	m_87_203	21750	87640	0.24817	21750	87640	0.24817	0.0	0.0
138	m_89_45	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
139	m_89_46	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
140	m_90_46	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
141	m_90_47	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
142	m_91_45	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
143	m_91_47	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
144	m_92_44	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
145	m_92_48	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
146	m_93_45	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
147	m_93_48	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
148	m_94_47	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
149	m_94_49	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
150	m_95_48	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
151	m_95_50	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
152	m_96_50	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
153	m_96_51	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
154	m_97_49	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
155	m_97_51	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
156	m_98_49	21750	102729	0.21172	21750	102729	0.21172	0.0	0.0
157	m_99_52	21750	88854	0.24478	21750	88854	0.24478	0.0	0.0
158	m_100_53	21750	88854	0.24478	21750	88854	0.24478	0.0	0.0
159	m_114_72	21750	869394	0.02502	21750	869394	0.02502	0.0	0.0
160	m_115_72	21750	869394	0.02502	21750	869394	0.02502	0.0	0.0
161	m_303_503	21750	87640	0.24817	21750	87640	0.24817	0.0	0.0
162	m_306_206	21750	88854	0.24478	21750	88854	0.24478	0.0	0.0

## 2. Linia 01B:\*

lp	modul	pra_okr1	sum_okr1	rel_okr1	pra_okr2	sum_okr2	rel_okr2	roznica	zmian_pr
1	m_1_2	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
2	m_2_2	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
3	m_2_3	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
4	m_3_3	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0

---

5 m\_3\_4 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
6 m\_4\_4 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
7 m\_4\_5 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
8 m\_5\_5 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
9 m\_5\_6 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
10 m\_6\_7 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
11 m\_7\_1 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
12 m\_8\_8 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
13 m\_9\_2 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
14 m\_9\_9 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
15 m\_10\_8 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
16 m\_10\_9 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
17 m\_11\_11 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
18 m\_12\_13 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
19 m\_12\_3 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
20 m\_13\_11 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
21 m\_13\_12 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
22 m\_14\_14 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
23 m\_15\_5 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
24 m\_16\_14 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
25 m\_16\_17 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
26 m\_17\_13 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
27 m\_17\_16 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
28 m\_18\_12 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
29 m\_18\_13 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
30 m\_19\_13 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
31 m\_19\_15 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
32 m\_20\_10 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
33 m\_20\_11 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
34 m\_21\_12 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
35 m\_21\_32 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
36 m\_22\_16 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
37 m\_22\_17 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
38 m\_23\_15 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
39 m\_23\_16 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
40 m\_24\_10 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
41 m\_24\_34 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
42 m\_25\_10 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
43 m\_25\_9 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
44 m\_26\_27 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
45 m\_26\_9 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
46 m\_27\_26 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
47 m\_27\_27 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
48 m\_28\_27 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
49 m\_28\_28 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
50 m\_29\_26 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
51 m\_29\_28 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
52 m\_30\_28 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
53 m\_30\_29 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
54 m\_31\_29 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
55 m\_31\_30 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
56 m\_32\_32 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
57 m\_32\_33 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
58 m\_33\_15 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
59 m\_33\_32 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
60 m\_34\_33 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0  
61 m\_34\_34 21750 909536 0.02391 21750 909536 0.02391 0.0 0.0

---

62	m_38_31	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
63	m_38_34	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
64	m_39_30	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
65	m_39_31	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
66	m_44_15	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
67	m_44_61	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
68	m_45_32	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
69	m_45_57	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
70	m_46_61	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
71	m_46_62	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
72	m_47_57	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
73	m_47_62	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
74	m_51_20	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
75	m_51_6	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
76	m_52_21	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
77	m_52_7	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
78	m_53_17	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
79	m_53_18	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
80	m_54_20	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
81	m_54_21	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
82	m_55_19	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
83	m_55_20	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
84	m_56_18	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
85	m_56_19	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
86	m_57_18	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
87	m_57_19	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
88	m_59_21	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
89	m_59_22	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
90	m_60_23	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
91	m_60_8	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
92	m_61_22	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
93	m_61_23	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
94	m_62_23	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
95	m_62_24	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
96	m_63_23	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
97	m_63_43	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
98	m_64_24	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
99	m_64_25	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
100	m_65_25	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
101	m_65_26	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
102	m_66_24	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
103	m_66_44	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
104	m_67_25	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
105	m_67_46	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
106	m_68_26	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
107	m_68_46	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
108	m_69_44	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
109	m_69_45	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
110	m_70_20	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
111	m_70_37	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
112	m_71_22	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
113	m_71_39	21750	869394	0.02502	21750	869394	0.02502	0.0	0.0
114	m_72_37	21750	869394	0.02502	21750	869394	0.02502	0.0	0.0
115	m_72_38	21750	869394	0.02502	21750	869394	0.02502	0.0	0.0
116	m_73_37	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
117	m_73_67	21750	869394	0.02502	21750	869394	0.02502	0.0	0.0
118	m_74_38	21750	869394	0.02502	21750	869394	0.02502	0.0	0.0

119	m_75_39	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
120	m_76_40	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
121	m_76_41	0 0 0.0	21750	881146	0.02468	0.0246837640981	new		
122	m_77_41	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
123	m_78_40	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
124	m_78_42	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
125	m_79_42	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
126	m_79_43	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
127	m_80_43	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
128	m_80_70	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
129	m_81_44	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
130	m_81_70	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
131	m_84_41	21750	841004	0.02586	21750	841004	0.02586	0.0	0.0
132	m_84_68	21750	881146	0.02468	21750	881146	0.02468	0.0	0.0
133	m_85_68	21750	841004	0.02586	21750	841004	0.02586	0.0	0.0
134	m_85_69	21750	881146	0.02468	21750	881146	0.02468	0.0	0.0
135	m_86_67	21750	881146	0.02468	21750	881146	0.02468	0.0	0.0
136	m_86_69	21750	841004	0.02586	21750	841004	0.02586	0.0	0.0
137	m_87_69	21750	87640	0.24817	21750	87640	0.24817	0.0	0.0
138	m_89_45	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
139	m_89_46	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
140	m_90_46	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
141	m_90_47	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
142	m_91_45	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
143	m_91_47	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
144	m_92_44	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
145	m_92_48	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
146	m_93_45	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
147	m_93_48	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
148	m_94_47	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
149	m_94_49	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
150	m_95_48	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
151	m_95_50	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
152	m_96_50	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
153	m_96_51	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
154	m_97_49	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
155	m_97_51	21750	909536	0.02391	21750	909536	0.02391	0.0	0.0
156	m_98_52	21750	102729	0.21172	21750	102729	0.21172	0.0	0.0
157	m_99_53	21750	88854	0.24478	21750	88854	0.24478	0.0	0.0
158	m_100_206	21750	88854	0.24478	21750	88854	0.24478	0.0	0.0
159	m_114_72	21750	869394	0.02502	21750	869394	0.02502	0.0	0.0
160	m_115_72	21750	869394	0.02502	21750	869394	0.02502	0.0	0.0
161	m_303_203	21750	87640	0.24817	21750	87640	0.24817	0.0	0.0
162	m_306_506	21750	88854	0.24478	21750	88854	0.24478	0.0	0.0

\*) Oznaczenia:

lp - liczba porządkowa,

modul - oznaczenie modułu sieci,

pra\_okr1 - potencjał przewozowy wyróżnionej linii przebiegającej przez opisywany odcinek w okresie 2005.12.10 – 2006.07.17,

sum\_okr1 - potencjał wszystkich linii przechodzących przez dany odcinek w okresie 2005.12.10 – 2006.07.17,

rel\_okr1 -  $pra\_okr1/sum\_okr1$ ,

pra\_okr2 - potencjał przewozowy wyróżnionej linii przebiegającej przez opisywany odcinek w okresie 2006.07.18 – 2006.12.31,

sum\_okr2 - potencjał wszystkich linii przechodzących przez dany odcinek w okresie 2006.07.18 – 2006.12.31,

---

$rel\_okr2 - pra\_okr2 / sum\_okr2$  ,

$roznica - rel\_okr2 - rel\_okr1$ ,

$zmian\_pr$  - zmiana udziału w realizacji tras na danym odcinku ( $roznica / rel\_okr1$ ) wyrażona w procentach.



## **F. Mapy**

W pracy zamieszczono dwa rodzaje map:

- mapy poglądowe,
- mapy charakterystyk sieci,  
o różnym zastosowaniu.

#### *Mapy poglądowe.*

Mapy te są szkicami sytuacyjnymi topologii układu torowego. Nie są zachowane proporcje odległości. Przebieg tras jest uproszczony. Ich format pozwala na umieszczanie kilku map na jednej stronie A4. Ich zadaniem jest lokalizowanie wyróżnionych miejsc w sieci.

#### *Mapy charakterystyk sieci.*

Zamieszczone w pracy mapy zostały wykreślone z pomocą zdjęć lotniczych. W tym celu obrysowane zostały wszystkie linie (zarówno bieżące jak i historyczne, obecnie zlikwidowane). Linie te zostały następnie nałożone na siebie i przerysowana na jedną warstwę. Zdjęcia lotnicze użyte w tym postępowaniu pochodzą z serwisu internetowego [maps.google.com](https://maps.google.com).

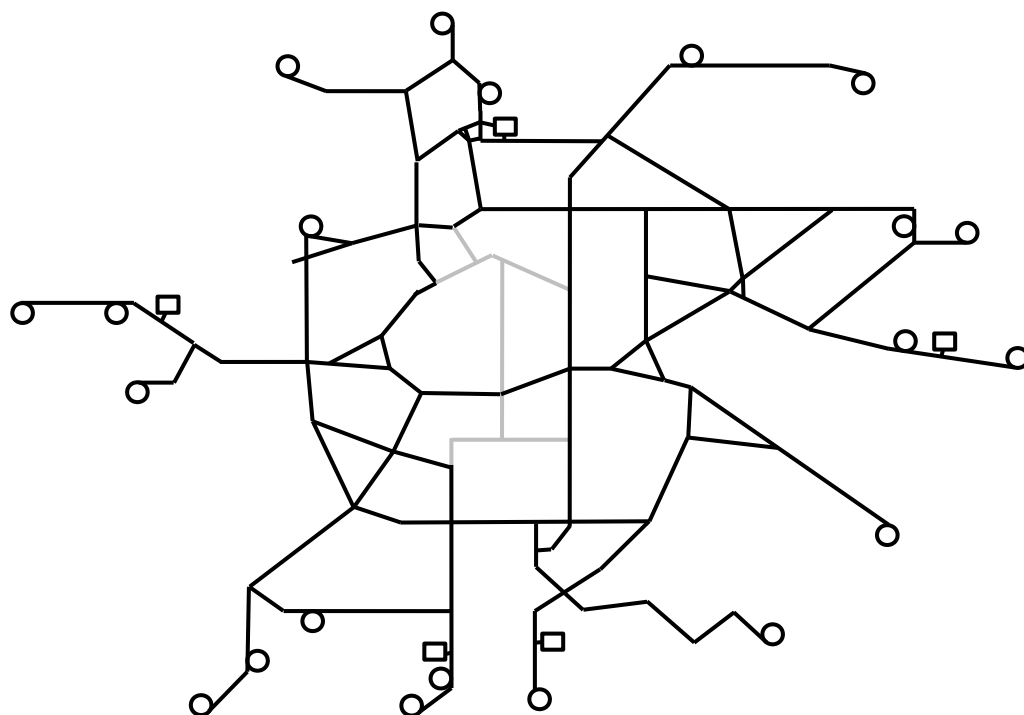
Osobne traktowanie każdej z linii i późniejsze ich scalanie pozwoliło na zweryfikowanie szczegółów oraz zwiększenie dokładności grafiki.

Postępowanie to uznano za uzasadnione biorąc pod uwagę to iż w metodologii przyjętej w pracy bardziej istotne są wielkości względne (wzajemne proporcje wielkości pojedynczej sieci) i jednakowa skala na obszarze sieci niż wielkości bezwzględne.

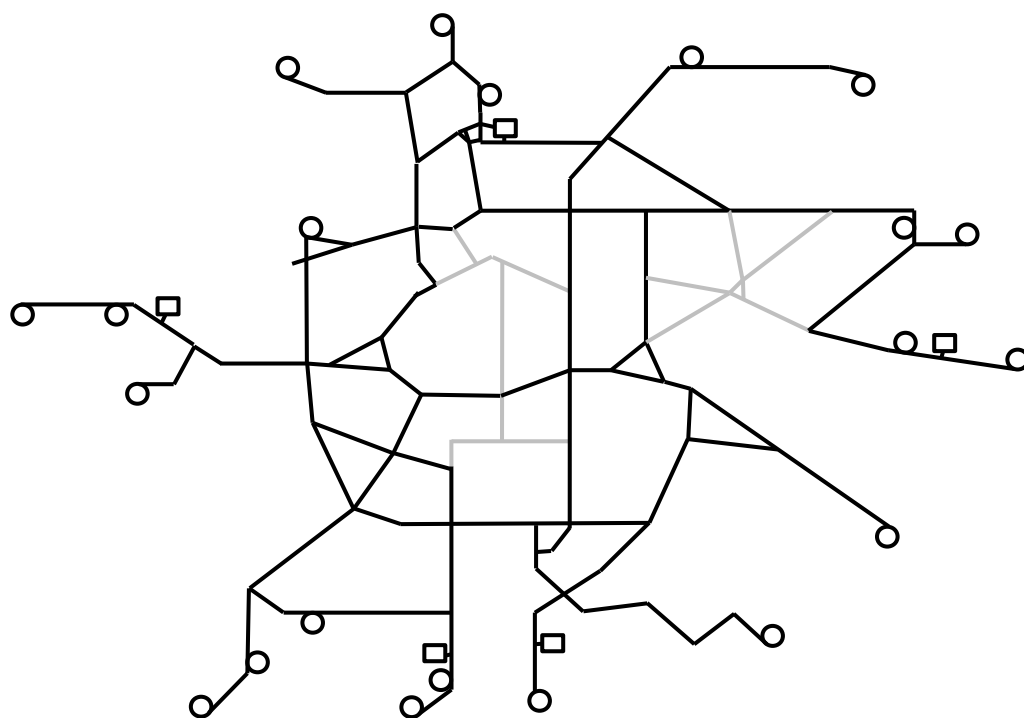
Długości odcinków podane w tabelach wyznaczono przy pomocy przygotowanej do tego celu strony internetowej, która wykorzystywała interfejs API (Application Programming Interface) udostępniony dla usługi Google Maps, pozwalający na pomiar odległości tras na mapie. W późniejszym terminie, już po zakończeniu pomiarów ukazały się analogiczne rozwiązania m.in. w programie Google Earth lub licznych stronach internetowych.

Dokładność pomiarów uznana została za wystarczającą z uwagi na drugorzędne znaczenie wartości bezwzględnych w obliczeniach (zgodnie z uwagą wcześniejszą).

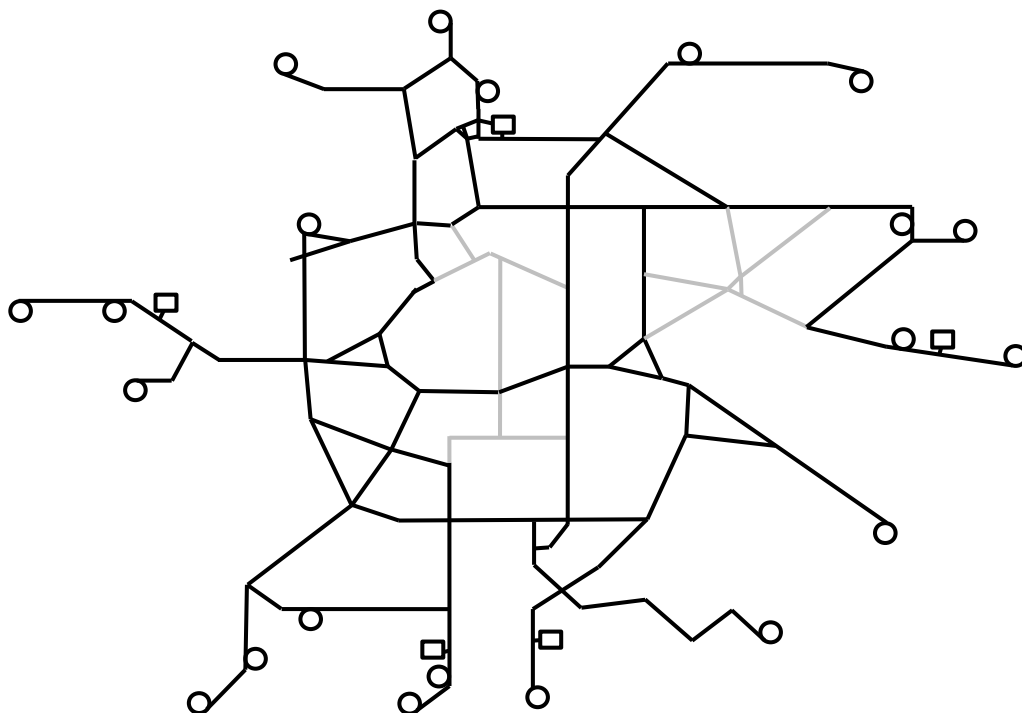
Przystanki na poszczególnych odcinkach zliczono z rozkładu jazdy z weryfikacją w terenie.



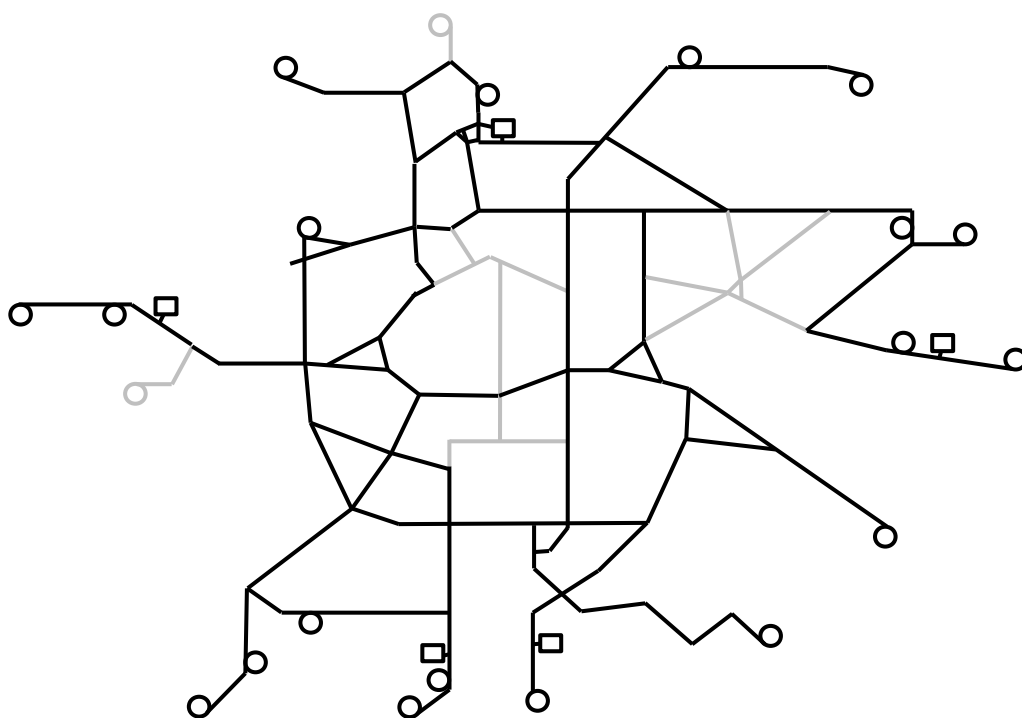
Rysunek F.1. Odcinki wyłączone sieci: 2006-03-11



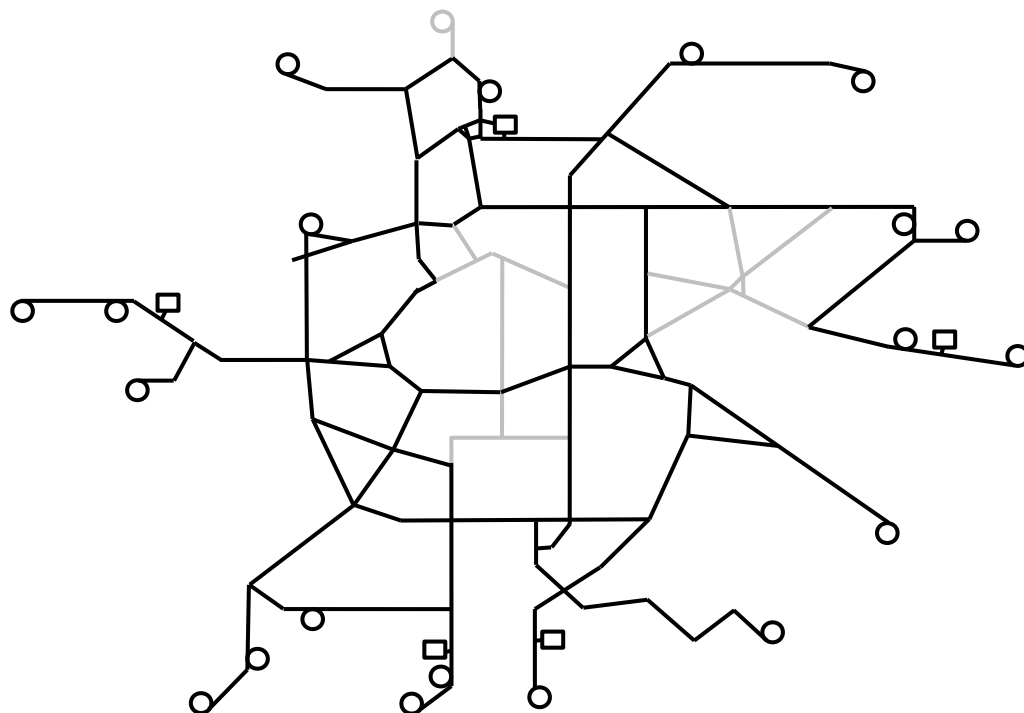
Rysunek F.2. Odcinki wyłączone sieci: 2006-03-12



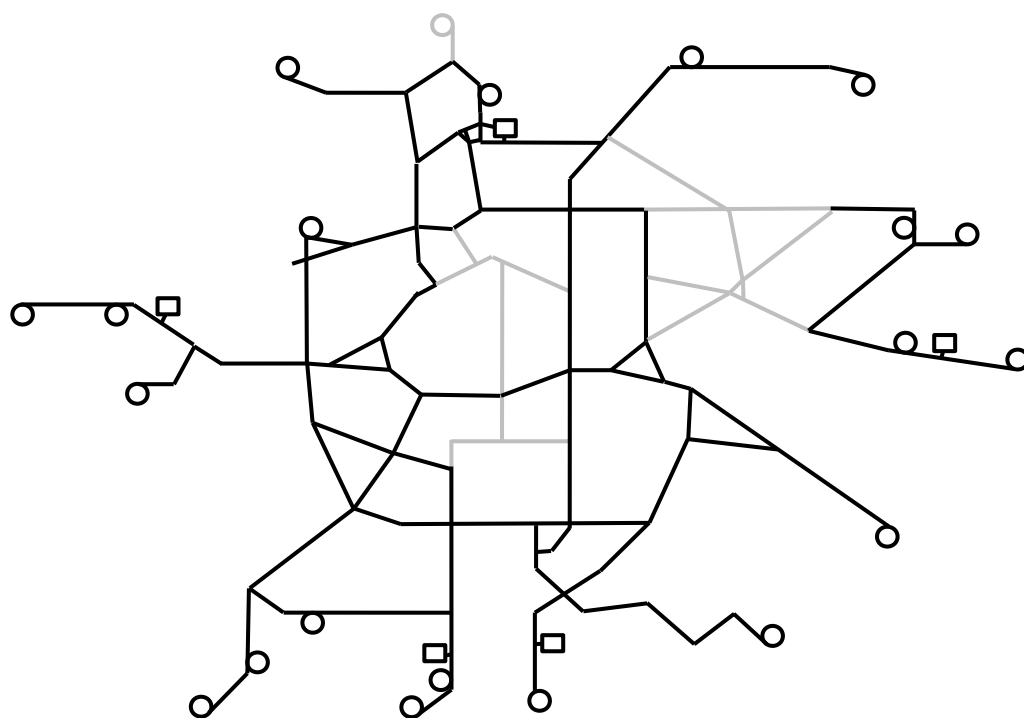
Rysunek F.3. Odcinki wyłączone sieci: 2006-03-31



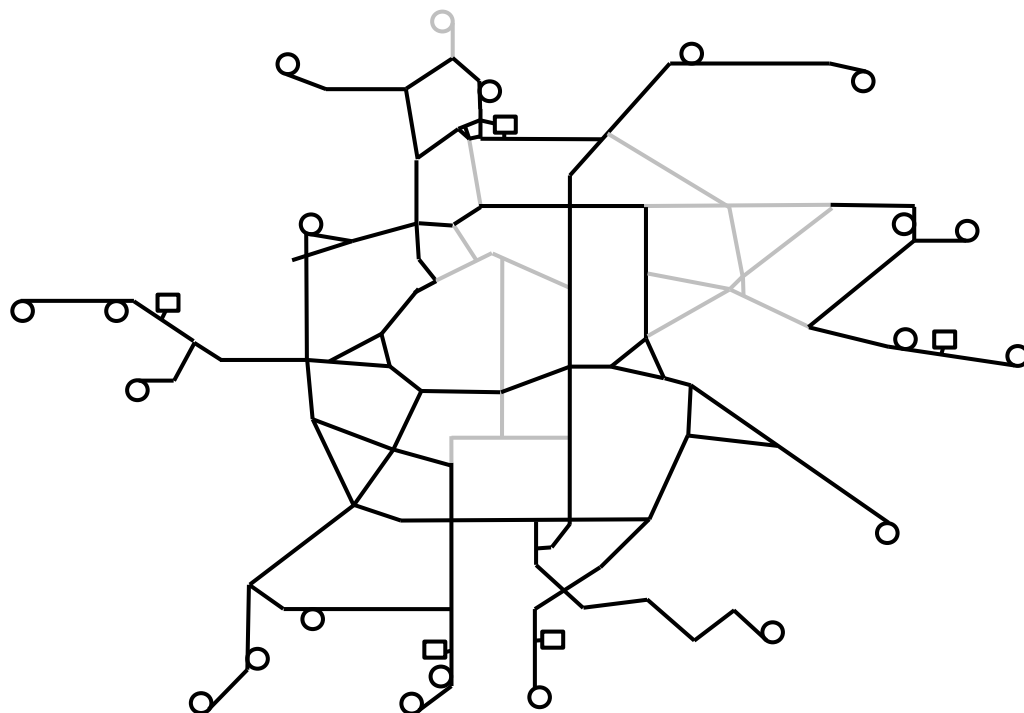
Rysunek F.4. Odcinki wyłączone sieci: 2006-04-01



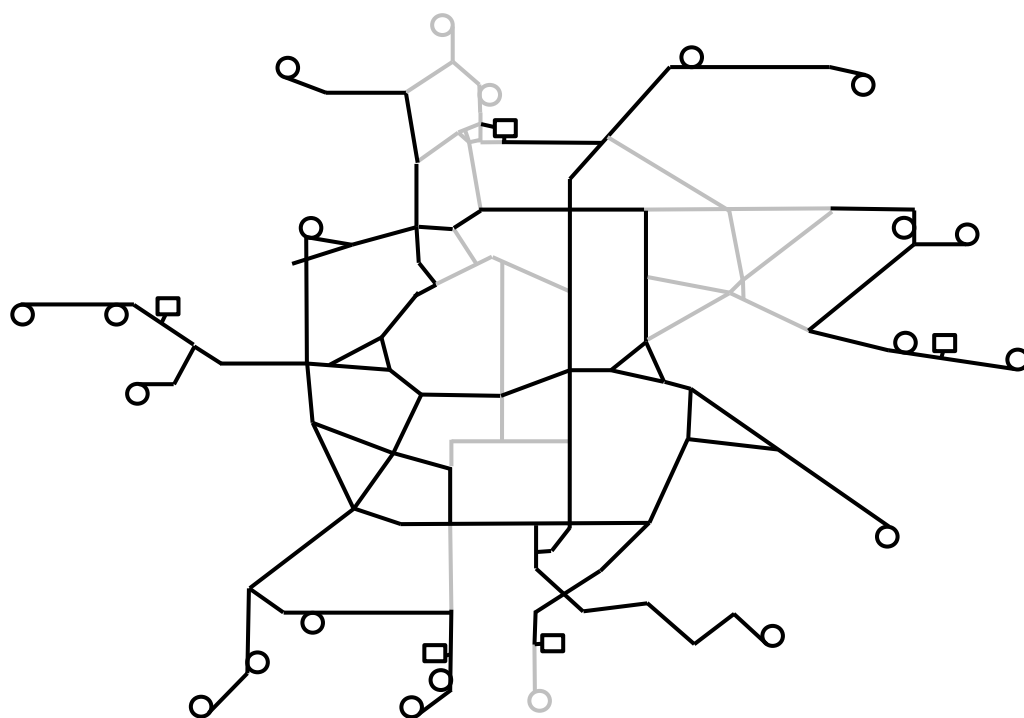
Rysunek F.5. Odcinki wyłączone sieci: 2006-06-23



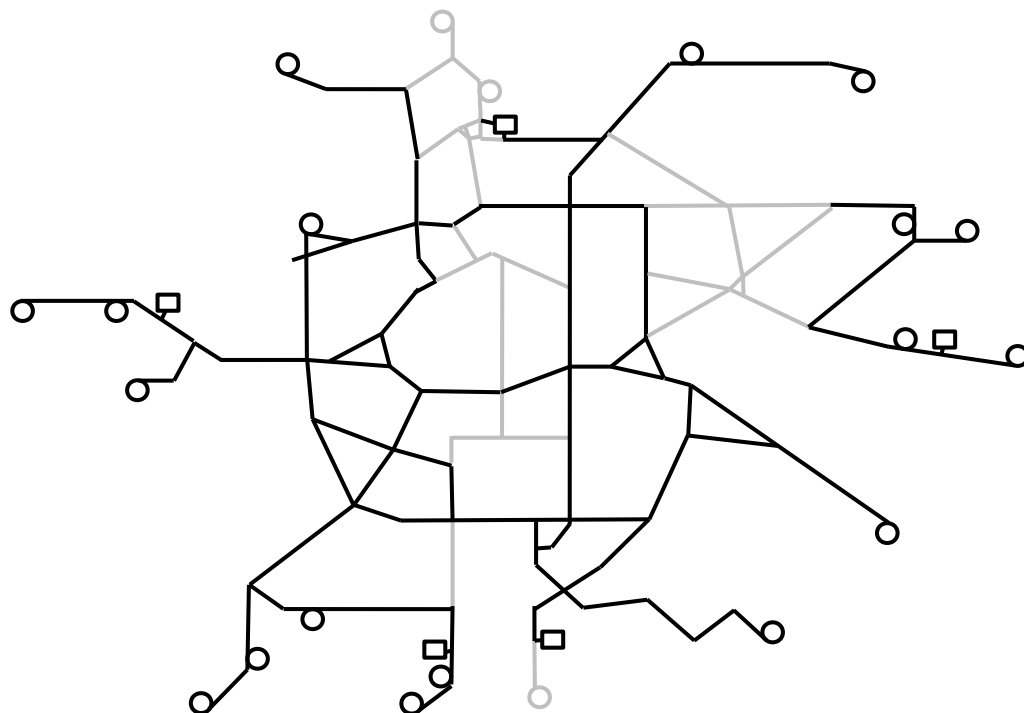
Rysunek F.6. Odcinki wyłączone sieci: 2006-06-24



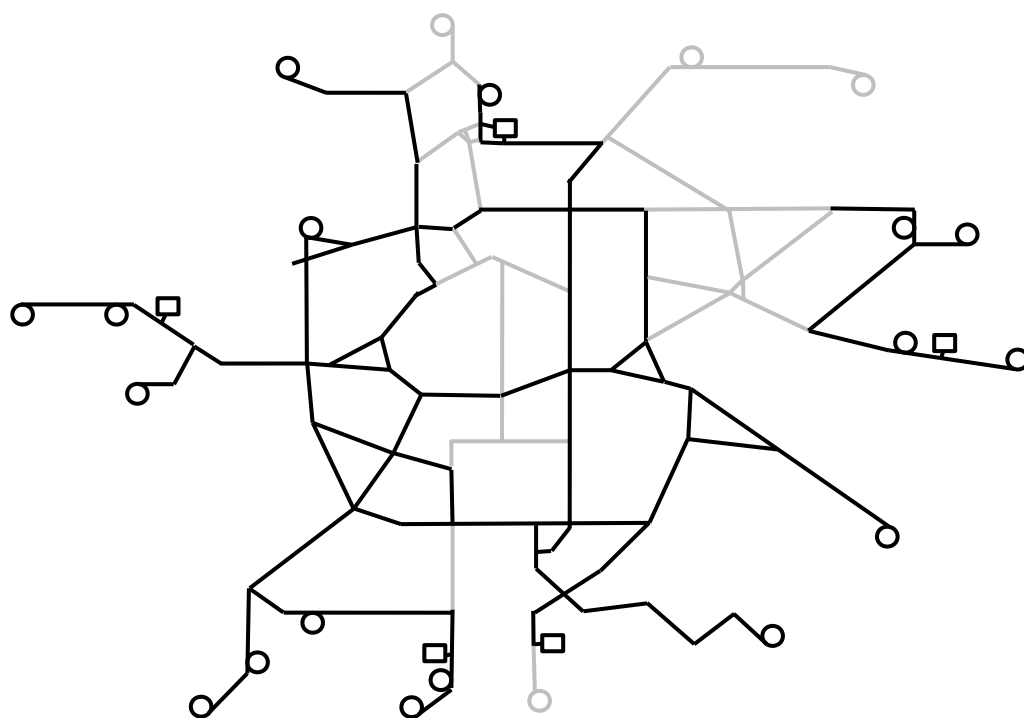
Rysunek F.7. Odcinki wyłączone sieci: 2006-07-14



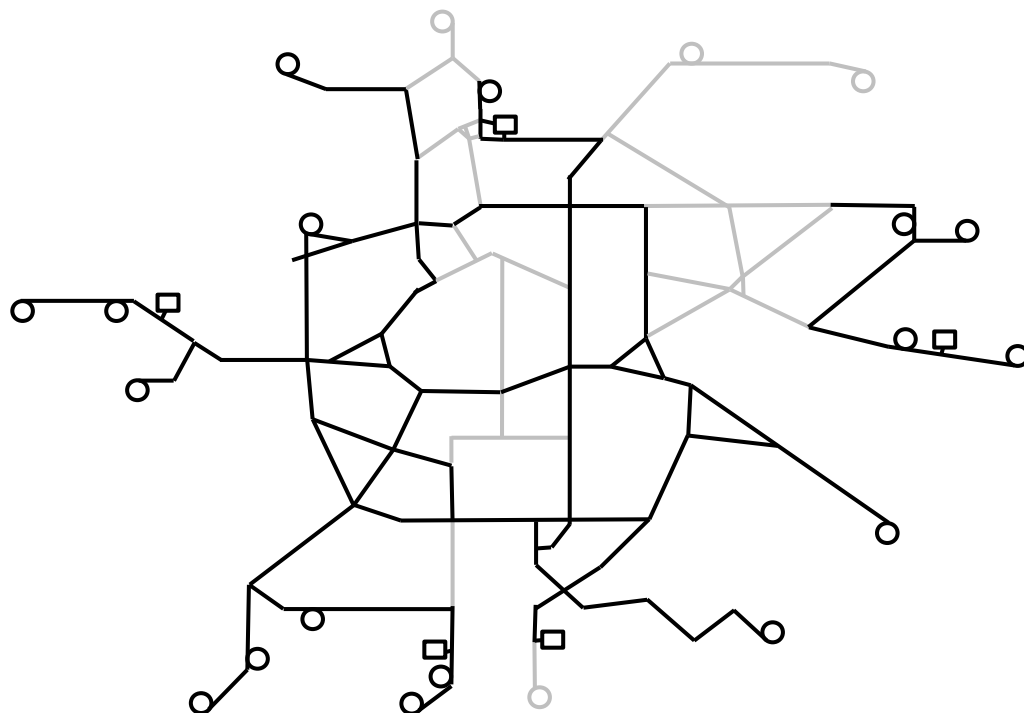
Rysunek F.8. Odcinki wyłączone sieci: 2006-07-15



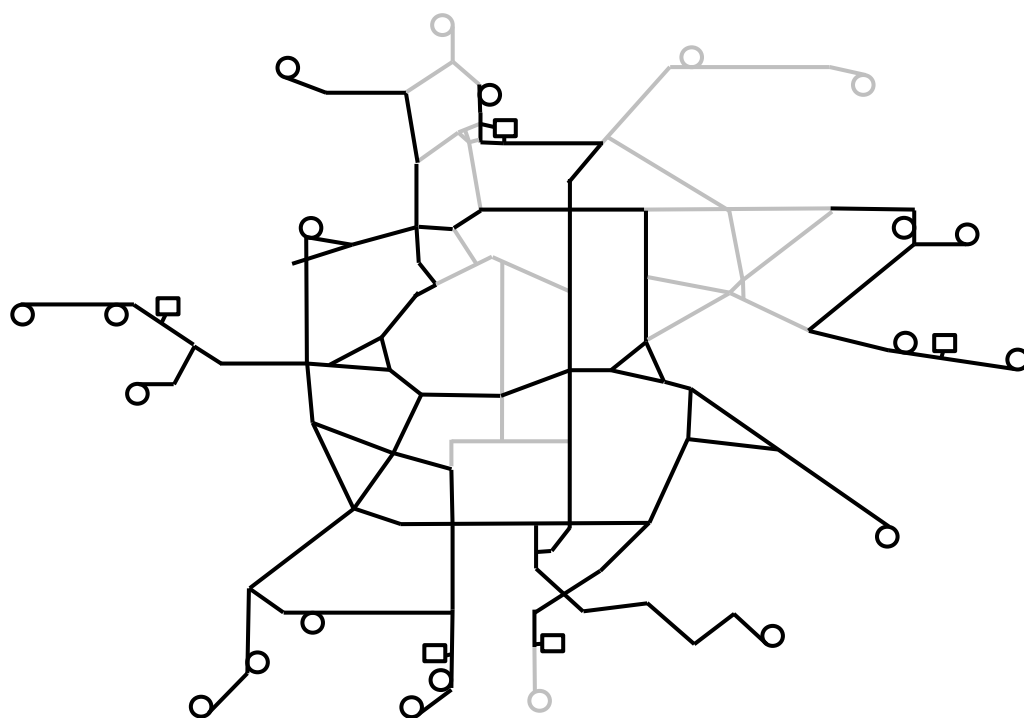
Rysunek F.9. Odcinki wyłączone sieci: 2006-07-17



Rysunek F.10. Odcinki wyłączone sieci: 2006-07-18

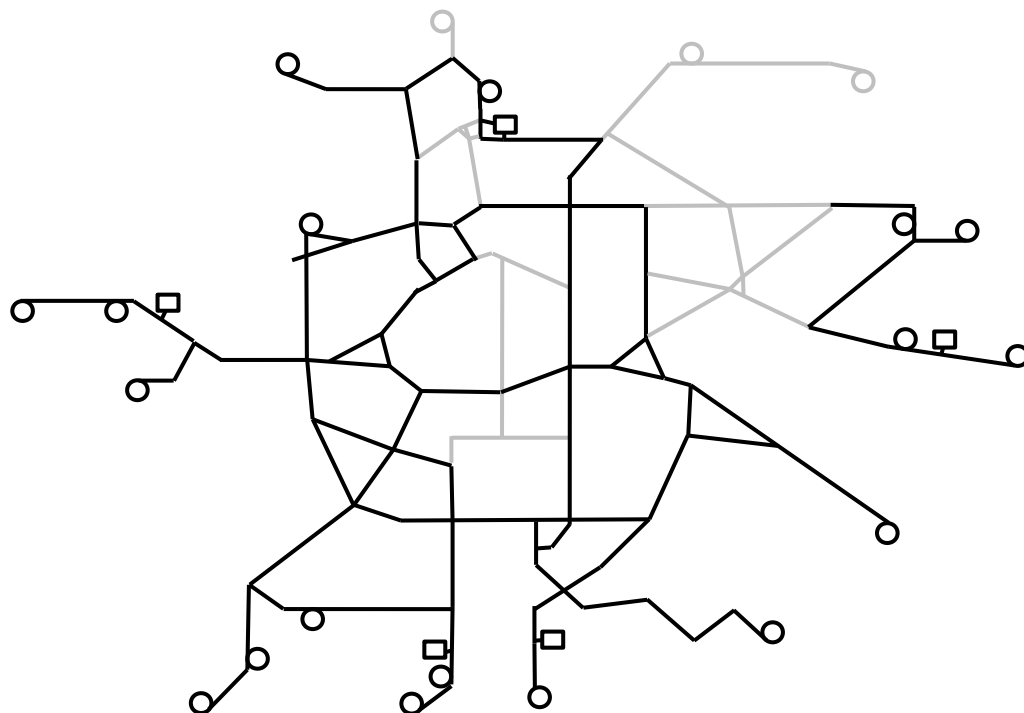


Rysunek F.11. Odcinki wyłączone sieci: 2006-08-09

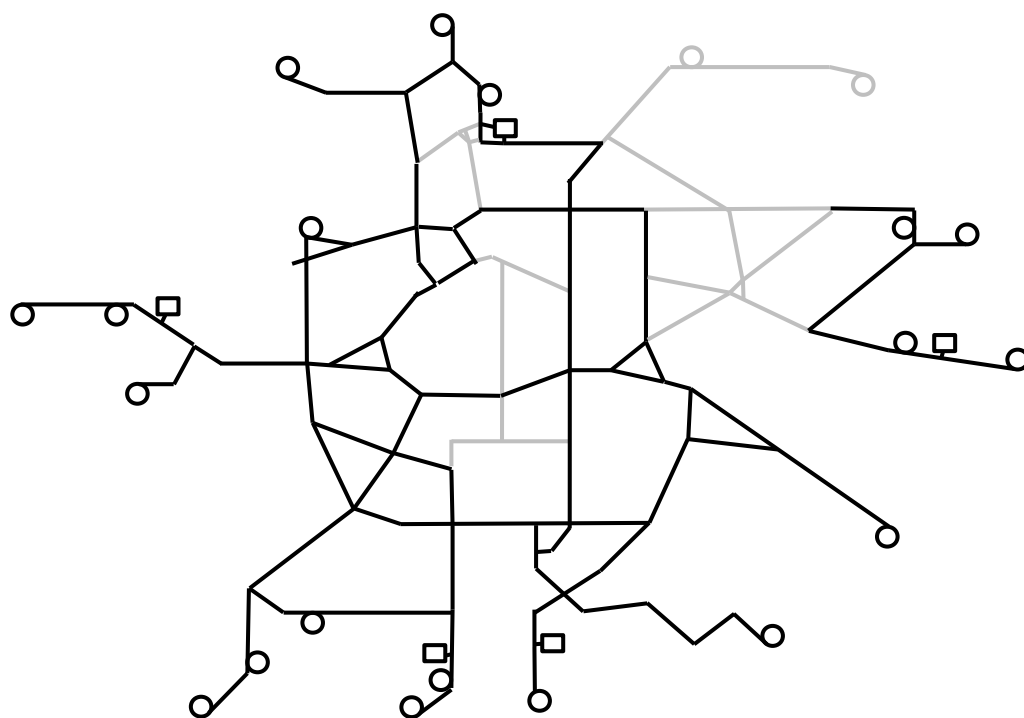


Rysunek F.12. Odcinki wyłączone sieci: 2006-08-10



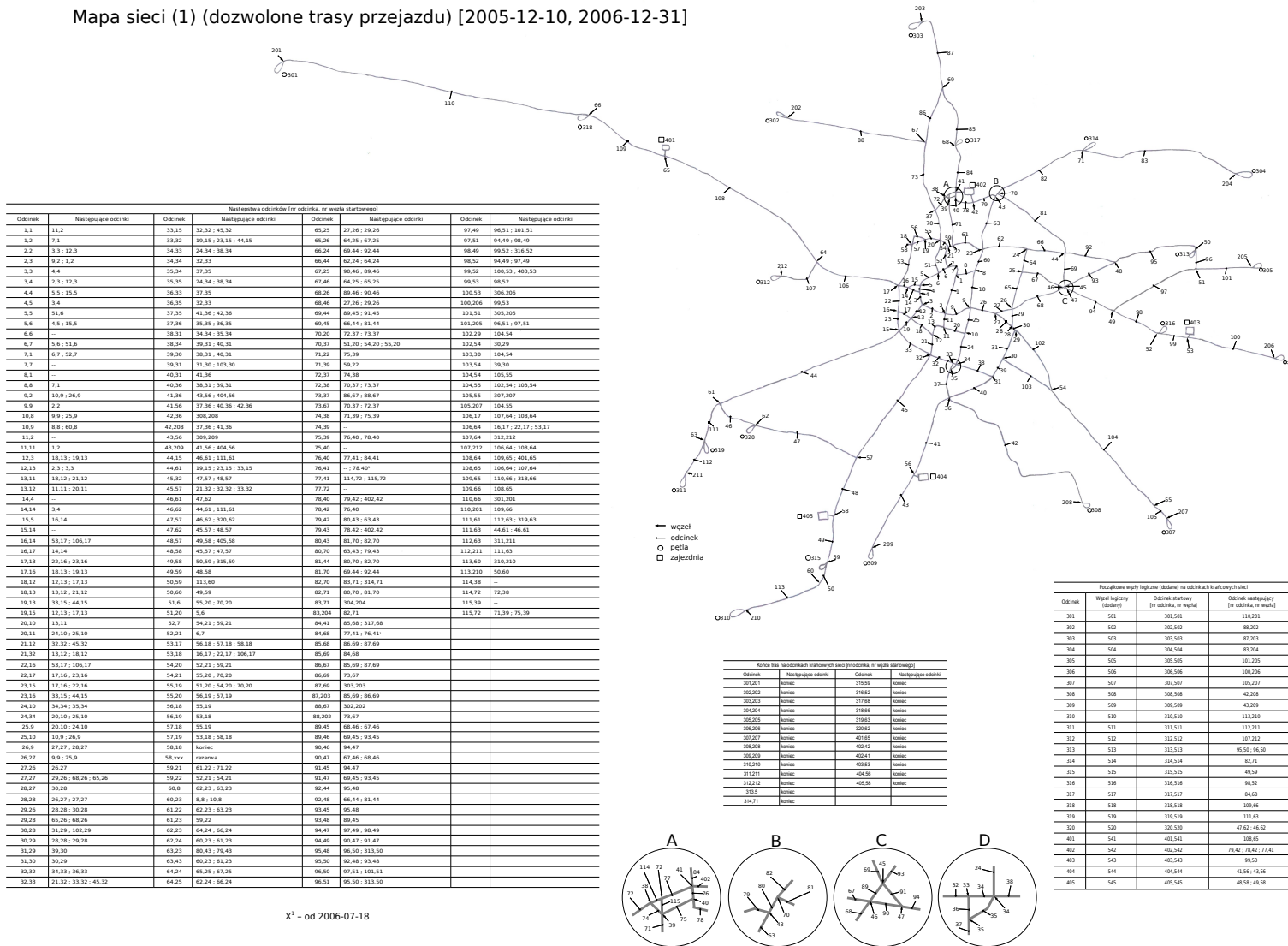


Rysunek F.13. Odcinki wyłączone sieci: 2006-10-20



Rysunek F.14. Odcinki wyłączone sieci: 2006-10-21

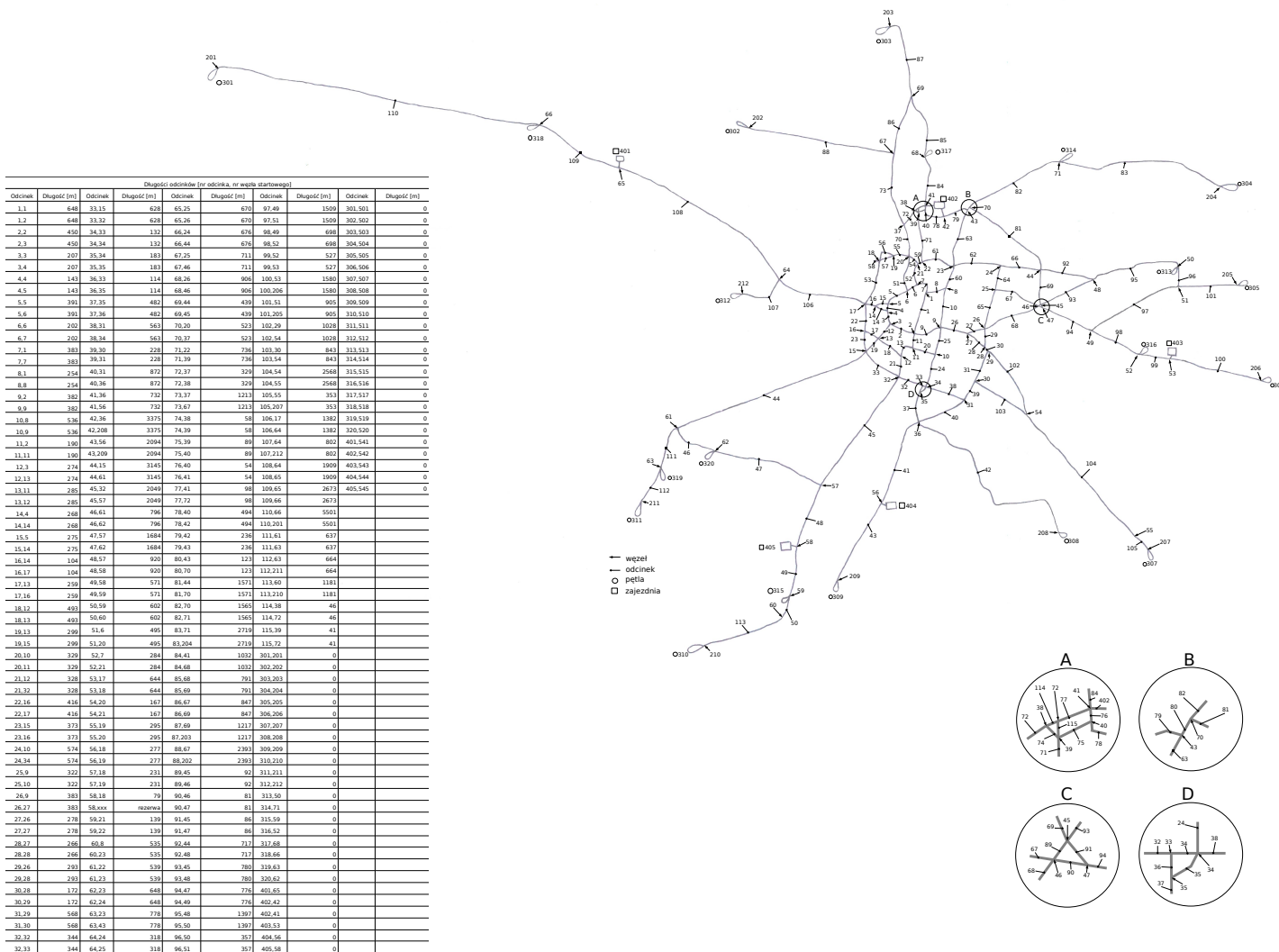
Mapa sieci (1) (dozwolone trasy przejazdu) [2005-12-10, 2006-12-31]



X<sup>1</sup> - od 2006-07-18

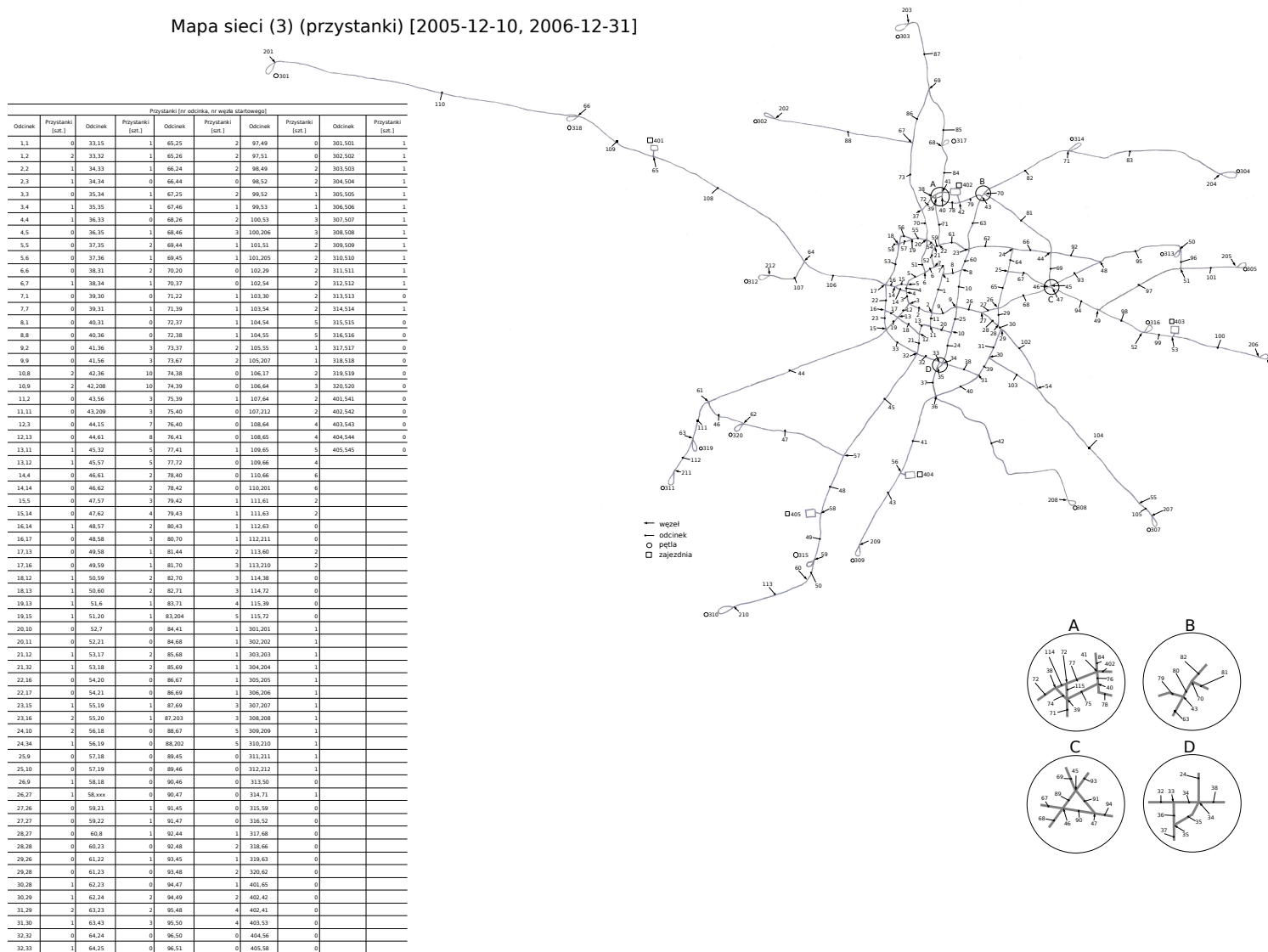
Rysunek F.15. Mapa sieci (1) - dozwolone trasy przejazdu

Mapa sieci (2) (długości odcinków) [2005-12-10, 2006-12-31]



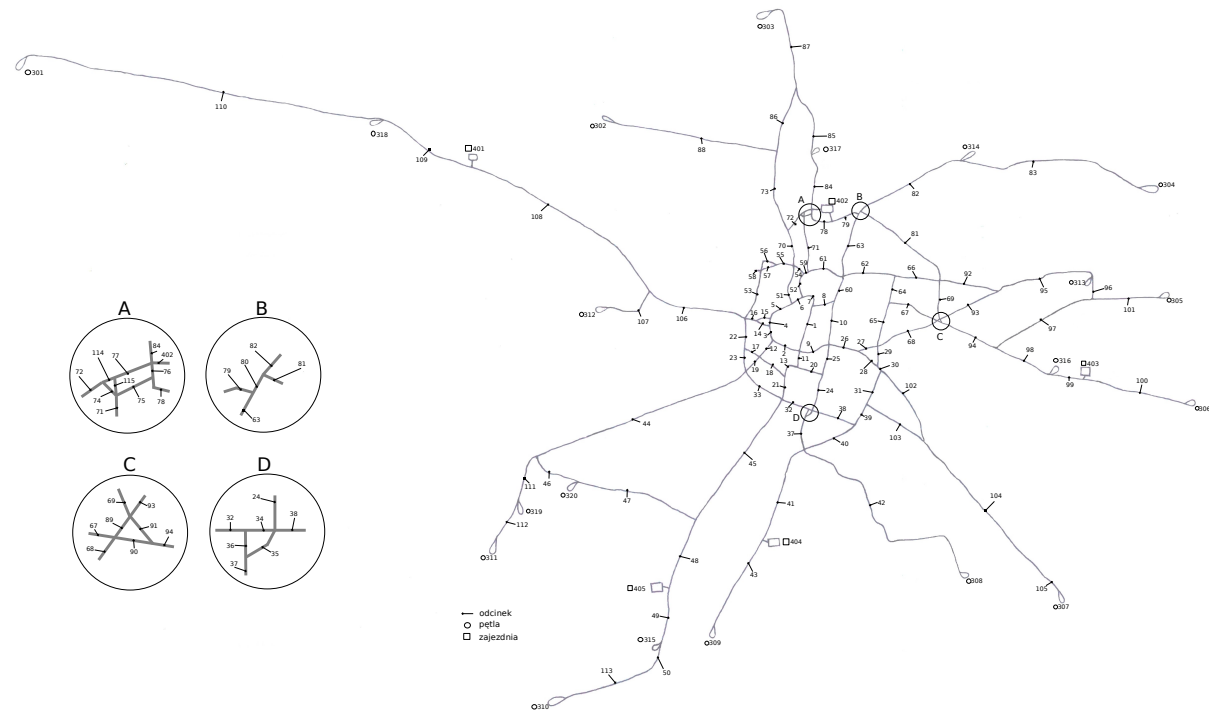
Rysunek F.16. Mapa sieci (2) - długości odcinków

Mapa sieci (3) (przystanki) [2005-12-10, 2006-12-31]



Rysunek F.17. Mapa sieci (3) - przystanki

Mapa sieci (4) (odcinki sieci) [2005-12-10, 2006-12-31]



Rysunek F.18. Mapa sieci (4) - odcinki sieci