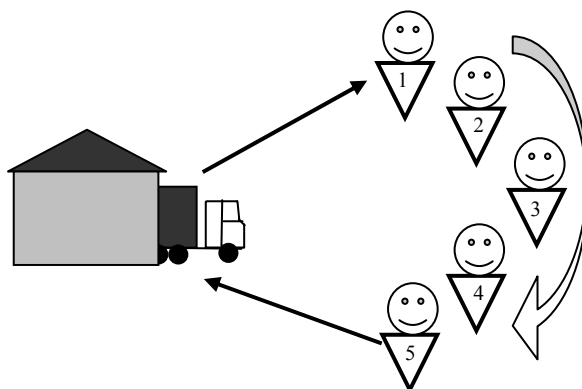


Procedura wyznaczania i przypisania do danego centrum dystrybucji rejonu obsługi

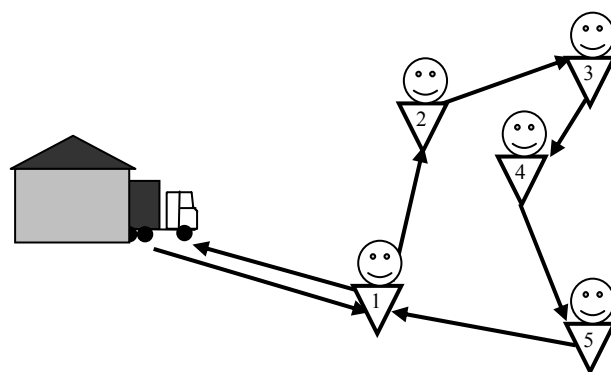
Celem artykułu jest przedstawienie procedury wyznaczania rejonu obsługi dla centrum dystrybucji. Czytelnik zapozna się najpierw z typami tras w systemie obsługi klienta. Tryb działania w wyznaczaniu rejonu zostanie przedstawiony w formie zadania składającego się z dwóch zadań częściowych: przydziału klienta do odpowiedniego środka transportu oraz wyznaczenia tras dla każdego z nich. Rozwiązanie – połączenie tras – zostanie zaprezentowane w formie graficznej.

Pracując nad zbudowaniem odpowiedniego systemu obsługi, decydent ma do wyboru trzy podstawowe typy tras. Pierwszy z nich to **trasy obwodowo-łukowe** – łączą one klientów drogą podobną do łuku, przy różnych odległościach od baz.



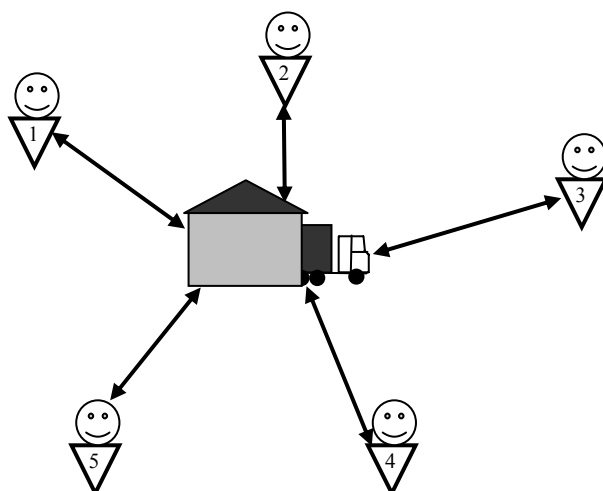
Rys. 1. Trasa obwodowo-łukowa

Kolejnym typem trasy są **trasy terenowo-rejonowe** – łączą klientów drogą w skupionym terenie. Warto zwrócić uwagę, że w wypadku tras terenowo-rejonowych kierowca może zasilić kilka miejscowości, poczynając od 1, 2, 3, ..., n i wracając ponownie przejechać przez lokalizację nr 1. Natomiast w trasie łukowej środek transportu wyraźnie porusza się po łuku, okrążając niejako bazę, a powrót odbywa się bezpośrednio z punktu obsłużonego jako ostatni.



Rys. 2. Trasa terenowo-rejonowa

Ostatni z prezentowanych typów tras to **trasy promieniowo-gwiazdziste**, nazywane także układem piasty i szprychy. W tym typie mamy wyraźnie zindywidualizowany system obsługi, w jego czystej postaci: jeden środek transportu, jedna trasa, jeden odbiorca.



Rys. 3. Trasa promieniowo-gwiazdzysta

Trasy i rejony obsługi projektuje się dla pewnej liczby środków transportu oraz zatrudnionych do ich obsługi kierowców. Jak w większości metod, konieczne są pewne założenia brzegowe, które prezentujemy poniżej¹.

Założenia:

- produkty są względnie jednorodne i można je transportować jednolitym środkiem transportu. Przyjmujemy, że jednorodność produktów pozwala wprowadzić wspólną miarę ładowności – paletowe jednostki ładunkowe formowane na paletach EUR 1200 × 800 mm.

¹ S. Krawczyk, *Zarządzanie procesami logistycznymi*, PWE, Warszawa 2001.

- produkty mają być pobrane z jednego magazynu, np. magazynu produktów producenta, który dalej oznaczymy symbolem P_O i dostarczone do n odbiorców, których oznaczymy symbolami O_1, \dots, O_N . W dalszej części odbiorcy będą identyfikowani przez numery indeksów.
- przyjmujemy, że mamy zamówienia odbiorców, przy czym ze względu na jednorodność produktów są one wyrażone w jednostkach ładowności. Zamówienie odbiorcy $O_i, i = 1, \dots, n$ zapisujemy jako Z_i . W dalszej części, dla skrócenia zapisu, odbiorców będziemy identyfikować samymi indeksami.
- produkty będą rozwożone identycznymi środkami transportu, każdy o ładowności Q_P . Przyjmujemy przy tym, że $Q_P > Z_i$ (czyli ładowność samochodu jest większa od zamówienia odbiorcy). W pierwszej chwili może się wydawać, że jest to bardzo istotne ograniczenie. Jeżeli jednak zamówienie odbiorcy jest większe od ładowności, to należy maksymalizować liczbę dostaw całopojazdowych, natomiast końcówkę połączyć z innymi dostawami.
- istotnym i realistycznym założeniem będzie wprowadzenie maksymalnego dopuszczalnego czasu trwania przewozu przez jeden środek transportu. Czas przebywania na trasie nie może dla żadnego z nich przekroczyć T jednostek czasu. Wynika stąd ważne ograniczenie: czas przejazdu od producenta do dowolnego klienta i z powrotem nie może przekraczać T .
- w praktyce dostarczenie ładunku wymaga pewnego czasu dla jego wyładowania u odbiorcy, zdefiniujemy zatem pewien umowny cykl wyładowania jednej paletowej jednostki ładunkowej tw_{pjt} i określimy czas jego trwania. Czas potrzebny na wyładunek będzie wynikał z iloczynu średniego czasu cyklu wyładowania pojedynczej paletowej jednostki ładunkowej oraz liczby jednostek wyładowywanych u danego odbiorcy. Jeżeli czas wyładunku (tw) będzie większy od czasu trwania przerwy w pracy (tpp) wynikającej z ustawy o czasie pracy kierowców lub kodeksu pracy, to do obliczeń weźmiemy czas wyładunku.

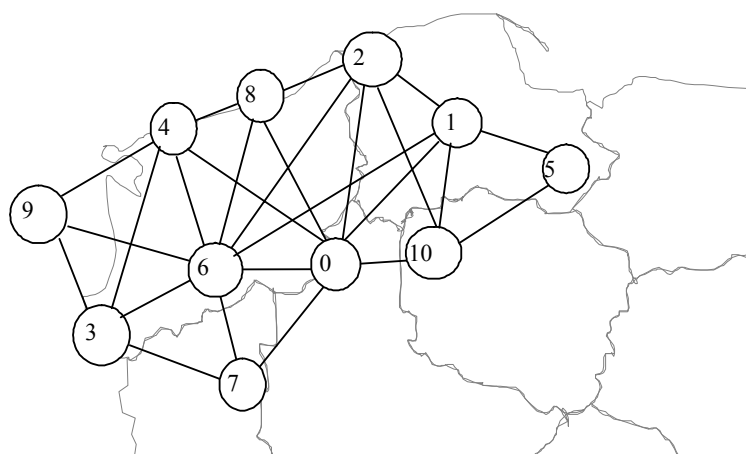
Aby wyznaczyć rejony obsługi, przydzielając odpowiednio środki transportu do zadań, musimy przyjąć pewien tryb działania. Na początku należy wyznaczyć ilość środków transportu oraz trasy ich przejazdów pozwalające obsłużyć wszystkie zamówienia klientów przy zachowaniu warunków przewozów tak, aby łączny czas obsługi wszystkich klientów był minimalny.

Zadanie składa się z dwóch zadań częściowych:

- 1) przydziału klienta do odpowiedniego środka transportu,

2) wyznaczenia tras dla każdego z nich z uwzględnieniem przerw wynikających z czynności załadunkowych.

Skład budowlany zlokalizowany jest w Bydgoszczy i pełni rolę centrum dystrybucji dla punktów handlowych zlokalizowanych w następujących miastach: (1) Elbląg, (2) Gdańsk, (3) Gorzów Wlkp., (4) Koszalin, (5) Olsztyn, (6) Piła, (7) Poznań, (8) Słupsk, (9) Szczecin, (10) Toruń. Celem jest obsłużenie zapotrzebowania poszczególnych odbiorców na zaprawę klejową. Zapotrzebowanie o wielkościach podanych w tabeli 1 występuje 3 razy w tygodniu. Należy odpowiedzieć, jak będzie wyglądała trasa, jeśli wiadomo, że każdy środek transportu obsługiwany jest przez jednego kierowcę, czas jazdy nie może przekroczyć 10 godzin, warunek oznaczony jako T . Maksymalna ładowność środka transportu wynosi 32 miejsca na paletowe jednostki ładunkowe, ograniczenie oznaczone jako B .



Rys. 4. Graficzne ujęcie sieci

Tabela 1. Przybliżone odległości pomiędzy miejscowościami

Bydgoszcz	Elbląg	Gdańsk	Gorzów Wlkp.	Koszalin	Olsztyn	Piła	Poznań	Słupsk	Szczecin	Toruń	Miasta
0	175	170	210	185	200	90	130	200	260	45	Bydgoszcz
	0	60	355	260	100	235	305	195	405	180	Elbląg
		0	315	205	160	225	330	135	365	180	Gdańsk
			0	225	410	120	135	295	105	255	Gorzów Wlkp.
				0	310	135	240	70	160	230	Koszalin
					0	285	330	295	460	165	Olsztyn
						0	105	175	170	135	Piła

								0	280	240	145	Poznań
									0	230	245	Słupsk
										0	309	Szczecin
											0	Toruń

Tabela.2. Czasy przejazdów na poszczególnych odcinkach oraz zapotrzebowanie zgłaszane przez poszczególnych odbiorców

Czasy w minutach [min] przy prędkości 50 km/h (macierz po obróbce)													
Bydgoszcz	Elbląg	Gdańsk	Gorzów Wlkp.	Koszalin	Olsztyn	Piła	Poznań	Słupsk	Szczecin	Toruń	Miasta	Lp.	Zapotrzebowanie
0											Bydgoszcz	0	
210	0										Elbląg	1	11
204	72	0									Gdańsk	2	19
252	462	414	0								Gorzów Wlkp.	3	8
222	318	246	270	0							Koszalin	4	9
252	120	192	504	438	0						Olsztyn	5	13
108	318	270	144	162	360	0					Piła	6	7
156	366	360	162	288	408	126	0				Poznań	7	24
240	234	162	354	84	354	210	336	0			Słupsk	8	11
312	510	438	126	192	630	204	288	276	0		Szczecin	9	20
54	216	216	306	276	198	162	210	294	366	0	Toruń	10	16

Ogólne zasady łączenia tras (metodyka przedstawiona za S. Krawczykiem i M Sysło):

1. Jeżeli pojedyncza trasa z magazynu do klienta złożona jest z fazy ładowej i nieładowej (powrotnej), to suma czasów tych faz musi być mniejsza od czasu ograniczającego T , co możemy zapisać:

$$t_{01} + t_{10} \leq T$$

2. Trasy, w których ładunki dla kilku odbiorców łączone są na jednym środku transportu, przy założeniu $t_{01} + t_{12} + t_{23} + \dots + t_{i0} = Tt_n$ oraz że $Z_{i1} + Z_{i2} + \dots + Z_{ir} = Zt_n$, muszą spełniać warunek mówiący, że trasa jest dopuszczalna, jeżeli $Tt_n \leq T$ oraz $Zt_n \leq Q$.

Jeżeli założymy, że jednego klienta obsługuje jeden samochód, to łączny czas trwania dostaw wynosi wtedy:

$$td = \sum_{i=1}^n (t_{0i} + t_{i0}) \quad [1]$$

czyli

czasu realizacji na trasach obsługujących niezależnie dwóch klientów i i j możemy przedstawić następującym zapisem:

$$t_0 = (t_{0i} + t_{i0}) + (t_{0j} + t_{j0}) \quad [2]$$

Zatem żeby sprawdzić, czy łączenie dwóch tras w jedną jest możliwe, a co więcej, celowe, np. przy dwóch klientach, musimy porównać czas obsługi w układzie dwóch niezależnych tras oraz czas obsługi trasy wynikającej z połączenia tych dwóch tras. Czas obsługi dwóch klientów jedną trasą zapiszemy:

$$t_1 = t_{0i} + t_{ij} + t_{j0} \quad [3]$$

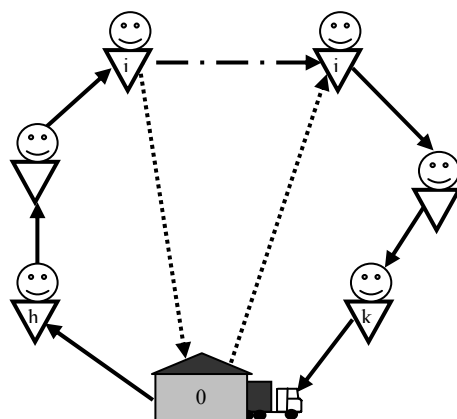
Połączenie jest uzasadnione przy spełnieniu warunków dopuszczalności oraz jeżeli $s_{ij} > 0$. Wartość s_{ij} możemy wyliczyć ze wzoru [4]:

$$s_{ij} = t_0 - t_1 = t_{i0} + t_{0j} - t_{ij} \quad [4]$$

Rozważając trasę $H_1 [0; h; \dots; i; 0]$ oraz trasę $H_2 [0; j; \dots; k; 0]$, zauważamy, że zawsze jest dwóch klientów, którzy są obsługiwani jako pierwsi lub jako ostatni. Będziemy ich nazywać odbiorcami krańcowymi w swoich trasach. Pozostałych klientów będziemy nazywać odbiorcami pośrednimi². Zanim jednak zaczniemy łączyć trasy, warto zapoznać się z charakterystycznymi przypadkami łączenia tras.

Przede wszystkim z góry musimy wykluczyć przypadki, w których mimo spełnienia wszystkich warunków dopuszczających, łączenie tras nie ma sensu, są to:

- odbiorcy, którzy już zostali uwzględnieni w tej samej trasie,
- nowi odbiorcy – dołączenie do trasy może nastąpić jedynie albo do jej początku, albo na jej koniec, czyli nie ma sensu rozpatrywanie oszczędności czasu między nowym a jakimkolwiek pośrednim odbiorcą grupy uwzględnionej już w trasie.



² S. Krawczyk, *Metody ilościowe w logistyce*, op. cit., s. 295.

Rys. 5. Schemat przedstawiający procedurę łączenia. Źródło: S. Krawczyk, *Zarządzanie procesami logistycznymi*, PWE, Warszawa 2001.

Gdy ani i , ani j nie należą do żadnej grupy odbiorców obsługiwanych wspólnie, a więc są obsługiwani indywidualnie, tworzymy grupę $\{i, j\}$ i sprawdzamy, czy trasa $[0; i, j; 0]$ spełnia warunki dopuszczalności przewozu. Gdy warunki są spełnione, tworzymy trasę $[0, i, j, 0]$. W przeciwnym wypadku skreślamy s_{ij} z listy i przechodzimy do następnego wskaźnika oszczędności.

Gdy i należy do pewnej grupy, natomiast j jest obsługiwany indywidualnie, musimy uwzględnić, jakie miejsce w trasie zajmuje i :

Jeżeli i jest odbiorcą pośrednim w swej grupie – nie rozpatrujemy dołączenia j do grupy.

Jeżeli i jest odbiorcą krańcowym, sprawdzamy, czy dołączenie j do trasy nie naruszy warunków dopuszczalności przewozu. Jeżeli warunki przewozu są spełnione, odbiorcę j dołączamy do trasy zawierającej i , przy czym j będzie obsługiwany:

- przed i , gdy i występował w trasie jako pierwszy obsługiwany, wówczas tworzymy trasę $[0, j, i, \dots, 0]$,
- po i , gdy i występował jako ostatni z obsługiwanych, wówczas tworzymy trasę $[0, \dots, i, j, 0]$,
- i należy do trasy np. H1, a j należy do trasy H2.

Połączenie ma sens, gdy i i j są odbiorcami krańcowymi swych tras oraz gdy po połączeniu są spełnione warunki przewozu.

PROCEDURA

Krok 1

Bierzemy największą wartość s_{ij} i odczytujemy wskazania numerów odbiorców. Jeżeli zbiór tych wartości jest pusty, postępowanie się kończy. Wyróżnione trasy, a tym samym wskazana liczba środków transportu, stanowią propozycję rozwiązania.

Krok 2

Sprawdzamy, jaką pozycję zajmują wskazani odbiorcy i oraz j w swych trasach i w zależności od ich umiejscowienia albo dokonujemy łączenia tras, albo pozostawiamy trasy bez zmiany.

Krok 3

Po wyznaczeniu nowej skreślamy z listy te, które uległy połączeniu, a do zbioru tras dołączamy nową powstałą po połączeniu. Redukujemy tym samym liczbę pojazdów przewidywanych do obsługi klientów. Skreślamy rozpatrzoną wartość s_{ij} ze zbioru i przechodzimy do następnej iteracji.

Tabela 3. Macierz przedstawiająca ewentualne korzyści połączeń tras s_{ij}

Macierz s_{ij}												
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Bydgoszcz	Elbląg	Gdańsk	Gorzów Wlkp.	Koszalin	Olsztyn	Piła	Poznań	Słupsk	Szczecin	Toruń	Miasta	Lp.
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Bydgoszcz	0
0	0										Elbląg	1
0	342	0									Gdańsk	2
0	0	42	0								Gorzów Wlkp.	3
0	114	180	204	0							Koszalin	4
0	342	264	0	36	0						Olsztyn	5
0	0	42	216	168	0	0					Piła	6
0	0	0	246	90	0	138	0				Poznań	7
0	216	282	138	378	138	138	60	0			Słupsk	8
0	12	78	438	342	-66	216	180	276	0		Szczecin	9
0	48	42	0	0	108	0	0	0	0	0	Toruń	10

Tabela 4. Różnice uporządkowane nierosnąco

d93	>	d48	>	d21	=	d51	=	d94	>	d82	>	d98	>	d52	>	d73	>	d63	=	d81	=
438	>	378	>	342	=	342	=	342	>	282	>	276	>	264	>	246	>	216	=	216	=
d96	>	d43	>	d42	=	d97	>	d64	>	d76	=	d83	=	d85	=	d86	>	d41	>	d41	>
216	>	204	>	180	=	180	>	168	>	138	=	138	=	138	=	138	>	114	>	114	>
d10						d10						d10									
5	>	d74	>	d92	>	d87	>	1	>	d32	=	d62	=	2	>	d54	>	d91			
108	>	90	>	78	>	60	>	48	>	42	=	42	=	42	>	36	>	12			

Zakładamy, że środek transportu obsługiwany jest przez jednego kierowcę, a czas jazdy nie może przekraczać $T \leq 10$ godzin, czyli $T \leq 600$ min. Dodatkowo wiadomo, że środek transportu ma typową skrzynię QP na 32 paletowe jednostki ładunkowe (pjl.).

Sprawdzamy dopuszczalność łączenia trasy d93, czyli 0, 9, 3, 0.

Tabela 5. Dane

Trasy	Przebieg	Suma czasów w minutach	Sumaryczny czas	Warunek dopuszczalności pod względem czasu	Zapotrzebowanie odbiorców na danej trasie	Suma zapotrzebowań	Warunek dopuszczalności pod względem ładowności środka transportu	Nazwy połączonych tras
d ₉₃	0,9,3,0	$t_{09} + t_{93} + t_{30}$ 312 + 162 + 252	690	>T nswdt*	$z_9 + z_3$ 20 + 8	28	<B swdł	
d ₄₈	0,4,8,0	$t_{04} + t_{48} + t_{80}$ 222 + 84 + 240	546	<T swdt	$z_4 + z_8$ 9 + 11	20	<B swdł	h ₁
d ₂₁	0,2,1,0	$t_{02} + t_{21} + t_{10}$ 204 + 72 + 210	486	<T swdt	$z_2 + z_1$ 19 + 11	30	<B swdł	h ₂
d ₅₁	0,5,1,0	1 ∈ d ₂₁ trasy h ₂ , 5 obsługiwany jest indywidualnie, dodatkowo wiadomo, że 1 jest krańcowym punktem trasy; fakty te sprawiają, że teoretycznie istnieje możliwość włączenia do trasy h ₂ punktu 5 (Olsztyn). Jednak zapotrzebowanie zgłaszane przez Olsztyn jest > 2, a tyle pozostało niewykorzystanych miejsc ładunkowych na środku transportu, którego maksymalna pojemność wynosi 32 paletowe jednostki ładunkowe.						
d ₉₄	0,9,4,0	4 ∈ d ₄₈ trasy h ₁ , 9 obsługiwany jest indywidualnie; formalnie można by rozważać dołączenie 9 (Szczecina) do trasy h ₁ , jednak pomijając aspekt odległości, wyraźnie widać, że dodanie Szczecina z zapotrzebowaniem 20 pjl. do już przypisanych trasie h ₁ 20 innych pjl. spowoduje przekroczenie 32 pjl., co jest maksymalną ładownością środka transportu.						
d ₈₂	0,8,2,0	8 ∈ d ₄₈ trasy h ₁ a 2 ∈ d ₂₁ trasy h ₂ ; połączenie tras formalnie byłoby możliwe, ale nie pozwalają na to brzegowe warunki dopuszczalności, zarówno w świetle kryterium długości trasy, jak i kryterium ładowności środka transportu.						
d ₉₈	0,9,8,0	Nie można połączyć z tego samego powodu co d ₉₄ .						
d ₅₂	0,5,2,0	2 ∈ d ₂₁ trasy h ₂ , 5 obsługiwane jest indywidualnie; połączenie tras formalnie byłoby możliwe, ale nie pozwalają na to brzegowe warunki dopuszczalności.						
d ₇₃	0,7,3,0	$t_{07} + t_{73} + t_{30}$ 156 + 162 + 252	570	<T swdt	$b_7 + b_3$ 24 + 8	32	<B swdł pełne nasycenie trasy nie można łączyć z innymi	h ₃
d ₆₃	0,6,3,0	3 ∈ d ₇₃ trasy h ₃ ; w związku z nasyceniem przestrzeni ładunkowej na środku transportu obsługującym trasę h ₃ nie analizujemy połączenia d ₆₃ .						
d ₈₁	0,8,1,0	1 ∈ d ₂₁ trasy h ₂ , 8 ∈ d ₄₈ trasy h ₁ ; połączenie tras formalnie byłoby możliwe, ale nie pozwalają na to brzegowe warunki dopuszczalności, zarówno w świetle kryterium długości trasy, jak i kryterium ładowności środka transportu.						
d ₉₆	0,9,6,0	$t_{09} + t_{96} + t_{60}$ 312 + 204 + 108 $t_{06} + t_{09} + t_{96}$ 99 + 284 + 185	642 568	>T warunek nie został spełniony więc do połączenia zgodnie z metodyką nie powinno dojść. Jednak punkty muszą być obsługiwane.	$b_9 + b_6$ 20 + 7	27	<B swdł	h ₄ warunkowo

				Dlatego są tu jedynie dwa wyjścia: – podniesienie średniej prędkości z 50 do 55 km/h, a przez to skrócenie czasu lub – dwuosobowa załoga środka transportu, ale ten przypadek rozważymy w drugim scenariuszu. Tymczasem zakładam że została podniesiona dla tej trasy prędkość.						
d ₄₃	0,4,3,0	3 ∈ h ₃ a trasa ta jest nasycona, co uniemożliwia łączenie.								
d ₄₂	0,4,2,0	4 ∈ h ₁ a 2 ∈ h ₂ ; do połączenia nie może i nie powinno dojść między innymi dlatego, że sumaryczne zapotrzebowania zgłaszane dla h ₁ i h ₂ przekraczają warunek dopuszczalności związany z ładownością.								
d ₉₇	0,9,7,0	7 ∈ h ₃ a do tej trasy nie można już nic dołączać.								
d ₆₄	0,6,4,0	6 obsługiwane jest indywidualnie, 4 ∈ d ₄₈ trasy h ₁ , 4 jest punktem krańcowym h ₁ , trasa nie jest nasycona, więc możemy rozważyć trasę 0,6,4,8,0 zatem: $t_{06} + t_{64} + t_{48} + t_{80}$ 108 + 162 + 84 + 240	594	<T swdt	b ₆ +b ₄ + b ₈ 7+9 +11	27	<B swdt	zmo dyfi kow ana h ₁		
d ₇₆	0,7,6,0	7 ∈ h ₃ a do tej trasy nie można już nic dołączać.								
d ₈₃	0,8,3,	3 ∈ h ₃ a do tej trasy nie można już nic dołączać.								
d ₈₅	0,8,5,0	8 ∈ h ₁ a 5 obsługiwany jest indywidualnie, nie można jednak włączyć Olsztyna do trasy h ₁ , ponieważ dodanie jego zapotrzebowania na poziomie 13 pjł. do już przypisanych tej trasie 20 spowoduje przekroczenie warunku ograniczającego ze względu na ładowność.								
d ₈₆	0,8,6,0	8 ∈ h ₁ 6 ∈ h ₁ więc nie ma co rozpatrywać.								
d ₄₁	0,4,1,0	4 ∈ h ₁ a 1 ∈ h ₂ ; do połączenia nie może i nie powinno dojść między innymi dlatego, że sumaryczne zapotrzebowania zgłaszane dla h ₁ i h ₂ przekraczają warunek dopuszczalności związany z ładownością.								
d ₁₀₅	0,10,5,0	$t_{010} + t_{105} + t_{50}$ 54 + 198 + 252	504	<T swdt	b ₁₀ + b ₅ 16 + 13	29	<B swdt	h ₅		
d ₇₄	0,7,4,0	4 ∈ h ₁ a 7 ∈ h ₃ ; do połączenia nie może i nie powinno dojść między innymi dlatego, że sumaryczne zapotrzebowania zgłaszane dla h ₁ i h ₃ przekraczają warunek dopuszczalności związany z ładownością.								
d ₉₂	0,9,2,0	9 ∈ h ₄ a 2 ∈ h ₂ ; do połączenia nie może i nie powinno dojść między innymi dlatego, że sumaryczne zapotrzebowania zgłaszane dla h ₁ i h ₂ przekraczają warunek dopuszczalności.								
d ₈₇	0,8,7,0	nie bierzemy pod uwagę								
d ₁₀₁	0,10,1,0	nie bierzemy pod uwagę								
d ₃₂	0,3,2,0	nie bierzemy pod uwagę								
d ₆₂	0,6,2,0	nie bierzemy pod uwagę								
d ₁₀₂	0,10,2,0	nie bierzemy pod uwagę								
d ₅₄	0,5,4,0	nie bierzemy pod uwagę								

$d_{91} | 0,9,1,0$ nie bierzemy pod uwagę

gdzie:

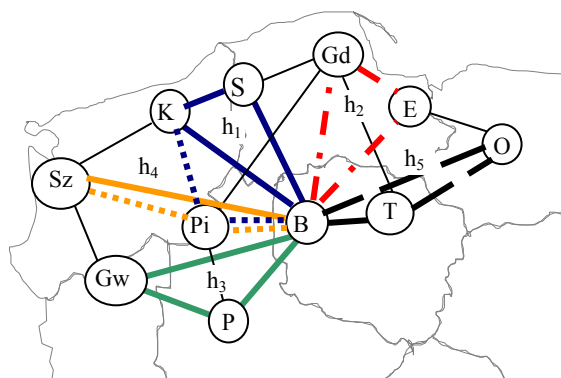
nswdt – nie spełnia warunków dopuszczalności ze względu na czas,

swdt – spełnia warunki dopuszczalności ze względu na czas,

nswdł – nie spełnia warunków dopuszczalności ze względu na pojemność skrzyni ładunkowej QP ,

swdł – spełnia warunki dopuszczalności ze względu na pojemność skrzyni ładunkowej QP .

Rozwiązanie zadania połączenia tras i wyznaczenia rejonu obsługi przyjmuje następującą postać graficzną.



Rys. 6. Graficzna odpowiedź do zadania

Marek Gubała